



**VULNERABILIDADES Y AFECTACIONES EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO  
POR AGENTES EXTERNOS EN LOS LITORALES**

Asesor: Juan Fernando Velásquez Bedoya  
I.C. M.Sc. Earthquake Engineering

Rosalino Palomeque García

Documento para optar al título de Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2023

Cita	Palomeque, 2023
<b>Referencia</b>	Palomeque, R. (2023). <i>Vulnerabilidades y afectaciones en estructuras de concreto por agentes externos en los litorales: revisión de literatura</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras, Cohorte Seleccione cohorte posgrado.

Grupo de Investigación Seleccione grupo de investigación UdeA (A-Z).

Seleccione centro de investigación UdeA (A-Z).



Seleccione biblioteca, CRAI o centro de documentación UdeA (A-Z)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

### **Dedicatoria**

A María Mercedes Mena Ayala, mi amada esposa, por no soltar mi mano en el camino que con su ayuda emprendí para alcanzar este objetivo.

A mis hijos, que me han apoyado en el largo camino de la superación académica, del cual hoy se logra pavimentar un gran tramo con este trabajo académico.

A Manuela Garcia, mi amada madre, en la cual siempre observe la tenacidad para salir adelante

A la Dra. Briseida Sánchez y a su esposo el Dr. Luis Fernando Cadavid, que siempre me brindaron trabajo con el cual pude contar con los recursos económicos para lograr este objetivo.

## **Agradecimientos**

### Agradecimientos a mi Asesor de esta monografía

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a mi Asesor, el Ing. Juan Fernando Velásquez Bedoya I.C. M.Sc. Earthquake Engineering.

Su experiencia, comprensión y paciencia contribuyeron a mi experiencia en el complejo y gratificante camino de la investigación. Su guía constante y su fe inquebrantable en mis habilidades me han motivado a alcanzar alturas que nunca imaginé. No tengo palabras para expresar mi gratitud por su inmenso apoyo durante este viaje.

### Agradecimientos a la universidad de Antioquia sede Medellín Antioquia

Me gustaría agradecer a la Universidad Antioquia, por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de avanzar en mi formación profesional. Agradezco especialmente al personal de la facultad de Ingeniería por su constante apoyo, su disposición para ayudarme ha sido fundamental para la finalización de esta monografía.

### Agradecimientos a amigos y compañeros

Un sincero agradecimiento a todos mis amigos y compañeros que estuvieron conmigo en los momentos de estrés y alegría durante este largo y retador camino. Su apoyo, confianza, soporte y cariño han sido invaluable. Cada uno de ustedes ha contribuido a mi fortaleza y ánimo de una manera u otra. Gracias por ser mi punto de apoyo, mi equipo de aliento y, lo más importante, la familia que yo elegí.

### Agradecimientos a colegas y colaboradores

Asimismo, quisiera expresar mi gratitud a todas las personas que contribuyeron con el desarrollo de mi especialización. Agradezco a todos los que me ayudaron a recopilar datos y a aquellos que dedicaron su tiempo a revisar mi trabajo. Los comentarios de mejora, las sugerencias de bibliografía, las entrevistas y sendas conversaciones para revisar conceptos, propuestas y análisis son la base de estas páginas. Esta monografía no sería la que es sin sus recomendaciones.

## Tabla de contenido

	Pág.
Resumen .....	9
Introducción.....	11
1 Planteamiento del Problema .....	13
1.1 Antecedentes .....	13
2 Justificación .....	17
3 Objetivos.....	19
3.1 Objetivo general.....	19
3.2 Objetivos específicos .....	19
4 Marco Teórico .....	20
4.1 Concreto .....	20
4.1.1 Composición del Concreto .....	21
4.1.2 El proceso de corrosión del acero en el concreto .....	23
4.1.3 Concreto armado o reforzado .....	24
4.1.4 Estructuras de concreto simple o reforzado .....	26
4.1.5 Problemáticas o patologías que pueden experimentar las estructuras de concreto en su vida útil.....	29
4.2 Litoral.....	31
4.2.1 Relieve del litoral .....	33
4.2.2 Propagación del oleaje hacia la costa .....	36
4.2.3 Zonas litorales .....	38
4.2.4 Rotura y disipación de energía .....	39
4.2.5 Los ecosistemas litorales y sus riesgos.....	41
4.3 Vulnerabilidad.....	43
4.3.1 Tipos de vulnerabilidad sísmica.....	44
4.3.2 Métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica .....	45
5 Metodología.....	48
5.1 Tipo de Investigación.....	48
5.2 Enfoque de la Investigación.....	48
5.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	48
5.3.1 Objetivo No. 1 .....	48
5.3.2 Objetivo No. 2 .....	49
5.3.3 Objetivo No. 3 .....	49
6 Resultados y Discusión.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
6.1 Tipos de afectaciones de las estructuras de concreto localizadas en litorales ....	51
6.1.1 Corrosión del acero de refuerzo. ....	51
6.1.2 Erosión.....	52
6.1.3 Ataque químico. ....	53

---

6.1.4	Ciclos de congelación y descongelación .....	54
6.1.5	Impacto de objetos flotantes.....	55
6.1.6	Subsidencia del suelo. ....	55
6.2	Condiciones que inciden en la vulnerabilidad de las estructuras de concreto ubicadas en litorales .....	57
6.3	Medidas para prevenir el deterioro de las estructuras de concreto en litorales...	58
6.3.1	Para prevenir la corrosión.....	58
6.3.2	Para mitigar la erosión.....	60
6.3.3	Para mitigar los ataques químicos. ....	62
6.3.4	Para mitigar los efectos de los ciclos de congelación y descongelación.....	62
6.3.5	Para evitar el impacto de objetos flotantes.....	63
6.3.6	Para abordar la subsidencia del suelo.....	64
7	Conclusiones, Recomendaciones e Investigaciones Futuras .....	66
	Referencias .....	68

**Lista de tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Problemáticas de las estructuras de concreto en su vida útil.....	29
Tabla 2. Clasificación de costas según sus característica.....	33
Tabla 3. Clasificación de corrientes marinas.....	35

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Edificio de apartamentos construido en concreto .....	13
Figura 2. Moldeabilidad del concreto.....	14
Figura 3. Estructuras de concreto afectadas en litorales.....	15
Figura 4. Características que definen una ola.....	34
Figura 5. Categorización de zonas del litoral .....	38

## Resumen

Este trabajo se realizó para comprender y clasificar las vulnerabilidades y afectaciones que les genera el medio ambiente marino a las estructuras de concreto en zonas costeras. Estas son atacadas por agentes externos de los litorales, en las que se identifican las condiciones que inciden en la vulnerabilidad de las estructuras de concreto ubicadas en litorales y se establecen las medidas que se pueden tomar para prevenir el deterioro de las estructuras de concreto en litorales.

El trabajo está organizado en siete capítulos. En el primero, después de la introducción, se realiza el planteamiento del problema y se presentan los antecedentes. La justificación y los objetivos son presentados en el segundo y tercer capítulos, respectivamente. El cuarto capítulo muestra el marco teórico correspondiente; permitiendo definir la metodología en el quinto capítulo. Cada uno de los objetivos se desarrollan en el sexto capítulo. El marco teórico se desarrolla en el capítulo séptimo.

Se destaca que para cada una de las siete vulnerabilidades que afectan a las estructuras de concreto en litorales, existen medidas específicas que pueden tomarse para mejorar su vida útil y que algunas de ellas se pueden aplicar en aquellas estructuras que fueron diseñadas y construidas sin tomar en consideración esos criterios, dado que se requiere de conocimientos especializados que no se necesitan en estructuras localizadas en condiciones geográficas diferentes.

**Palabras claves:** vulnerabilidad, afectación, estructuras de concreto, agentes externos, litorales.

### **Abstract**

This work was carried out to understand and classify the vulnerabilities and affectations generated by the marine environment to concrete structures in coastal areas. These are attacked by external coastal agents, in which the conditions that affect the vulnerability of concrete structures located in coastal areas are identified, and the measures that can be taken to prevent the deterioration of concrete structures in coastal areas are established.

The work is organized in seven chapters. In the first chapter, after the introduction, the problem statement and background are presented. The justification and objectives are presented in the second and third chapters, respectively. The fourth chapter shows the corresponding theoretical framework, allowing the methodology to be defined in the fifth chapter. Each of the objectives are developed in the sixth chapter. The theoretical framework is developed in the seventh chapter.

It is highlighted that for each of the seven vulnerabilities affecting concrete structures in coastal areas, specific measures can be taken to improve their service life. Some of them can be applied in those structures that were designed and built without considering these criteria since specialized knowledge is required that is not needed in structures located in different geographical conditions.

**Keywords:** vulnerability, damage, concrete structures, external agents, coastal areas.

## Introducción

En el marco de la creciente importancia atribuida a la resiliencia y sostenibilidad de las infraestructuras, particular atención se ha dirigido hacia las estructuras de concreto ubicadas en litorales, donde la interacción con agentes externos impone desafíos únicos y críticos. En este contexto, el presente trabajo se centra en una revisión bibliográfica exhaustiva que tiene como objetivo principal examinar la vulnerabilidad inherente y las afectaciones generadas a las estructuras de concreto en zonas costeras debido a la acción de agentes externos.

Este compendio no sólo se limita a la identificación y clasificación de los diferentes tipos de afectaciones que estas estructuras pueden experimentar, sino que también se enfoca en el análisis de las condiciones ambientales y geográficas que inciden en su vulnerabilidad. Reconociendo la complejidad de estos entornos, se busca aportar conocimiento actualizado sobre los factores determinantes que contribuyen al deterioro de las estructuras de concreto en litorales, permitiendo así una comprensión más concreta de los desafíos a los que se enfrentan.

Dentro de este marco, se establecen medidas preventivas que pueden ser implementadas para preservar la integridad de las estructuras de concreto en litorales. Estas medidas no solo buscan abordar los problemas existentes, sino también anticiparse a posibles amenazas futuras, contribuyendo a la creación de infraestructuras más robustas y duraderas en estos entornos vulnerables.

A través de esta revisión, además de consolidar el conocimiento existente en este campo de la ingeniería, se proporciona una guía práctica y conceptual para profesionales, ingenieros y diseñadores involucrados en el desarrollo y mantenimiento de infraestructuras costeras. Al entender mejor la vulnerabilidad y las estrategias efectivas de mitigación, podemos avanzar hacia un enfoque más holístico y proactivo para la planificación y ejecución de proyectos en estas áreas críticas.

En las últimas décadas, la atención hacia la seguridad y durabilidad de las estructuras de concreto en entornos costeros ha experimentado un crecimiento significativo. Este interés se ha centrado en comprender la vulnerabilidad de estas estructuras ante agentes externos específicos presentes en los litorales, así como en desarrollar estrategias efectivas para mitigar los efectos adversos asociados.

## 1 Planteamiento del Problema

### 1.1 Antecedentes

En la actualidad, las estructuras de concreto se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, desde edificios y puentes hasta presas y carreteras, esto se debe a varias características, como su resistencia y durabilidad, que lo hacen ideal para aplicaciones que requieren una gran capacidad de carga (Siddika et al., 2020).

**Figura 1. Edificio de apartamentos construido en concreto**



Fuente: tomado de Freepik (2023)

Esa capacidad de carga del concreto permite que se construyan edificios de diferentes dimensiones, alcanzando decenas de pisos para diferentes usos, como vivienda, oficinas, plantas de producción, bodegas, entre otros. Esto también sucede en Colombia, como lo registra Camacol en su revista gremial (Camacol, 2023).

Adicionalmente, el concreto se puede moldear en una variedad de formas y tamaños (ver Figura 2), por lo que resulta adecuado para una amplia gama de aplicaciones. También se garantiza por su durabilidad, ya que puede soportar condiciones climáticas extremas y se

puede fabricar con materiales locales casi en cualquier lugar del mundo, sin importar qué tan lejos se encuentre ese lugar de una población urbana (Liquete, 2022).

### **Figura 2. Moldeabilidad del concreto**



Fuente: tomado de Pereira (2018)

Las estructuras de concreto proporcionan un lugar para vivir, trabajar, aprender y jugar; también son esenciales para el transporte y la infraestructura. Es el material de construcción más utilizado en el mundo, y se utiliza en la construcción de edificios de todos los tamaños, desde edificaciones de un nivel o piso hasta rascacielos. Así mismo, los puentes de concreto son una parte esencial de la infraestructura de transporte, por lo que permiten la movilización de millones de personas y mercancías todos los días. También se utiliza en la construcción de presas que permiten controlar el flujo de agua y generar energía hidroeléctrica, como lo describen Almutairi et al. (2021).

Ahora bien, cuando las estructuras de concreto se encuentran en litorales pueden verse afectadas por una serie de factores, como la acción directa del agua, los cambios de temperatura, la salinidad y otros fenómenos naturales. El agua salada es corrosiva y puede dañar progresivamente el concreto con el tiempo, lo que puede provocar la aparición de fisuras, desprendimientos y, en casos extremos, el colapso de la estructura. Así mismo, las estructuras de concreto pueden estar expuestas a cambios de temperatura extremos en los

litorales, lo que puede ocasionar la contracción y expansión del concreto, lo que a su vez puede generar grietas y otros daños. Adicionalmente, los litorales están expuestos a una serie de fenómenos naturales, como tormentas, huracanes y tsunamis; estos fenómenos pueden causar daños significativos a las estructuras de concreto (de Sánchez & Hernández, 2022).

**Figura 3. Estructuras de concreto afectadas en litorales**



Fuente: Tomado de PF (2020), Bandala et al. (2018), Mera et al. (Mera et al., 2019), Agencia UNAL (2019).

Colombia es un país que cuenta con dos costas, lo que hace que existan muchas estructuras de concreto localizadas en litorales. Desde La Guajira hasta Nariño se encuentran ciudades, poblaciones pequeñas, puentes, carreteras, hoteles y otras construcciones en concreto que pueden resultar afectadas por las condiciones propias de su localización. Sin embargo, existen experiencias internacionales sobre estas mismas condiciones de operación de las estructuras de concreto, si se tiene en cuenta que en todo el mundo los seres humanos han construido diferentes estructuras que le facilitan la navegación internacional, que es el principal motor del comercio internacional, además del acceso a la pesca y demás beneficios que ofrece la cercanía al mar.

El presente trabajo busca aprovechar esos avances internacionales para dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál es el estado actual de la bibliografía internacional sobre vulnerabilidad y afectaciones generadas a las estructuras de concreto por agentes externos en los litorales? Al responder este interrogante se podrá dar respuesta a otras preguntas específicas como las siguientes: ¿qué tipos de afectaciones pueden tener las estructuras de concreto localizadas en litorales? ¿qué condiciones inciden en la vulnerabilidad de las estructuras de concreto ubicadas en litorales? ¿qué medidas se pueden tomar para prevenir el deterioro de las estructuras de concreto en litorales?

## 2 Justificación

Existen varias razones que justifican dar respuesta a los interrogantes previamente formulados. En primer lugar, interesa establecer los avances recientes en la literatura internacional sobre los principales agentes y otras condiciones que pueden causar daños a las estructuras de concreto en los litorales, dado que de esa forma se pueden identificar criterios que los encargados del diseño y la construcción de esas estructuras pueden aplicar con el propósito de asegurar que las mismas sean más resistentes y duraderas.

Así mismo, en la medida en que se conozcan las condiciones que inciden en la vulnerabilidad de estas estructuras, se pueden identificar aquellas que corren un mayor riesgo de sufrir daños; esto puede servir para tomar medidas preventivas o correctivas sobre estructuras que ya existen, de manera que se mitiguen los efectos que generan las condiciones naturales de los litorales y se prolongue la vida útil de esas estructuras, de acuerdo con las nuevas tecnologías y métodos de protección que se hayan desarrollado a nivel internacional.

La bibliografía internacional sobre este tema abarca una amplia gama de temas, desde la caracterización de los agentes externos que causan daños a las estructuras de concreto en los litorales, hasta la evaluación de la vulnerabilidad de estas estructuras y el desarrollo de nuevas tecnologías y métodos de protección.

Por otra parte, en el mundo actual el acceso al conocimiento se ha acelerado gracias a las tecnologías de la información y las comunicaciones; esas tecnologías han dado acceso que hace algunos años era limitado a artículos científicos, trabajos doctorales, *papers* especializados, catálogos, libros electrónicos y otros recursos que contienen información confiable, en diferentes idiomas sobre múltiples temas. Existen métodos bien definidos que pueden seguirse para seleccionar y clasificar esas publicaciones, de manera que los resultados de un trabajo como el que aquí se plantea tengan relevancia y confiabilidad.

Anteriormente los ingenieros y constructores debían basar sus avances solamente en su experiencia propia, en experimentos de laboratorio y en información de difícil acceso, que podía adquirirse solamente por medio de congresos internacionales, viajes de exploración y otras alternativas costosas y demoradas. En la actualidad, desconocer la información

disponible por medios electrónicos puede significar para un profesional o para una empresa que sean superados por la competencia y desaparezcan del mercado, o que incurran en errores que pueden afectar seriamente a sus clientes y demás usuarios de las estructuras que ellos diseñan y construyen.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Realizar una revisión bibliográfica sobre vulnerabilidad y afectaciones generadas a las estructuras de concreto por agentes externos en los litorales.

#### **3.2 Objetivos específicos**

1. Diferenciar los tipos de afectaciones que pueden tener las estructuras de concreto localizadas en litorales.
2. Identificar las condiciones que inciden en la vulnerabilidad de las estructuras de concreto ubicadas en litorales.
3. Establecer las medidas que se pueden tomar para prevenir el deterioro de las estructuras de concreto en litorales.

## 4 Marco Teórico

Para el proceso de desarrollo de esta investigación, es fundamental tener en cuenta los conceptos esenciales que llevarán a dar una perspectiva más clara para la definición del proyecto, por lo tanto, a continuación, se describen las referencias teóricas relacionadas con el tema de la presente investigación.

### 4.1 Concreto

Este material es el más usado en procesos de construcción, se elabora mezclando agregados, arena, así como un agente aglutinante que habitualmente es el cemento, y si se requiere, se le adicionan aditivos para mejorar las propiedades del material. Esta mezcla puede adoptar diversidad de formas. Las cualidades del concreto endurecido están supeditadas al porcentaje de fabricación de los componentes como son el agregado utilizado, las adiciones que se le apliquen o los aditivos que se le adicionen. De igual forma, pueden existir perjuicios por la calidad, o en cuanto a su aspecto por la forma en que se use el concreto y el trato que se le dé a éste en su superficie (Terreros & Carvajal, 2016).

En la fase de mezclado del concreto se adicionan los aditivos, los cuales, según Flores (2019) corresponden a elementos químicos que se adicionan para transformar las propiedades de la mezcla, pero no se puede estimar que van a reemplazar componentes para que el diseño del concreto sea excelente. La puesta en marcha del uso de aditivos en la mezcla del concreto se realiza para aumentar su manejabilidad sin que vaya a haber transformaciones en relación con el contenido de agua de éste; de igual forma, existen otra clase de aditivos que no transforman la modificación de la manejabilidad si se minimiza el contenido del agua. Así mismo, los aditivos tienen la tarea de acoplar el tiempo de fraguado, minimizar la segregación, desarrollar la bombeabilidad, aumentar la resistencia y mejorar la durabilidad posible, permitiendo minimizar la permeabilidad de la mezcla de concreto (Maurello y otros, 2020).

La conformación del concreto viene dada por arena, cemento portland, agregado grueso y agua, pero gran parte de las mezclas contienen adiciones que conforman la mayoría del material cementante que integran el concreto. Habitualmente, estos materiales son

productos derivados de otros materiales o procesos de origen natural, y éstos pueden estar o no procesados antes de ser utilizados dentro del concreto. Para utilizar estas adiciones, se tiene que cumplir con determinados requerimientos, y se pueden usar de forma individual o combinándolos con la mezcla de concreto, se pueden agregar como un cemento que contenga la adición o como un componente medido dentro de la planta de concreto premezclado (Maurello y otros, 2020).

#### **4.1.1 Composición del Concreto**

El concreto está compuesto por los materiales que se señalan a continuación.

- **Cemento:** el cemento utilizado en la mezcla de concreto es bastante fundamental para la resistencia del concreto, ya que corresponde al componente de mayor actividad en la mezcla. Sin embargo, el cemento posee una buena calidad, pero el aumento de resistencia de calidad con el paso del tiempo no es igual, alguna clase de cemento incrementa su nivel de resistencia y es más precoz de una forma prematura en el tiempo.

De acuerdo con Bernal citado en Cerpa (2016) la proporción de cemento que se aplica en la mezcla para obtener el concreto, es determinante para su resistencia, ya que cuando se incrementa la cantidad de cemento también se incrementa la resistencia, aunque mezclas con un elevado contenido superior a  $470 \text{ kg/m}^3$  de concreto poseen una reducción en relación con su resistencia, primordialmente cuando poseen máximos bastante elevados, así mismo, se genera una contracción en la pasta de cemento cuando se pasa de estado plástico a estado endurecido.

- **Agregado fino:** este material se utiliza para el relleno, y actúa como lubricante sobre el cual se deslizan los agregados gruesos para que el concreto pueda ser maniobrable. Cuando no hay suficiente arena, se puede denotar en la rugosidad de la mezcla, y, cuando existe sobreabundancia de ésta, se percibe que se requiere más agua para generar el asentamiento que se necesita; puesto que, si existe mayor cantidad de arena, la mezcla se hace más cohesiva, y si se necesita aplicar más agua, se requiere a su vez más cemento para preservar una correlación de agua-cemento definida.

La cantidad de finura del agregado fino que se usa para elaborar las mezclas de concreto requiere estar entre 2,3 y 3,1 para impedir que el agregado grueso se separe cuando la arena sea muy fina, y si esta última es gruesa se consiguen mezclas rugosas o gruesas. Si existe materia orgánica en la arena que se va a usar en la mezcla de concreto puede generar el cese parcial del proceso de fraguado del cemento (Cerpa, 2016)

- Agregado grueso: Considerando que el concreto es una piedra artificial, el agregado grueso conforma la materia prima para elaborar el concreto. Por lo tanto, se debe utilizar un tamaño más grande y en mayor cantidad, considerando las existencias de colocación y resistencia.
- Agua: Corresponde al componente fundamental para mezclas de concreto y morteros ya que posibilita que el cemento genere su capacidad de unión. Para cada cantidad de cemento existe la cantidad de agua del total que se adiciona y se necesita para la hidratación del cemento; la otra cantidad de agua se necesita para incrementar la soltura de la pasta a fin de que pueda cumplir su tarea de lubricante de los componentes que se adicionan como agregados y se pueda conseguir una apropiada maniobrabilidad de mezclas frescas. El adicional de agua conforma una masa que queda incorporada dentro de la mezcla, y en el momento en que el concreto se fragua va a provocar porosidad, lo cual minimiza la resistencia y motiva que en el momento en que se necesite una mezcla suficientemente fluida, no se debe conseguir su soltura o fluidez con agua, sino añadiendo aditivos plastificantes (Cerpa, 2016).

El agua usada para elaborar concreto y mortero debe ser apropiada para el consumo humano, que no contenga sustancia como aceites, ácidos o sustancias alcalinas o materia orgánica. Si se requiere utilizar agua no potable, se debe efectuar con ella cubos de mortero, los cuales deben contar con 7 y 8 días y con un 90% de la resistencia de los morteros que se elaboren con agua potable.

#### 4.1.2 El proceso de corrosión del acero en el concreto

Para hablar del proceso de corrosión en el concreto, inicialmente se debe hablar del fenómeno de corrosión; este corresponde al deterioro o degradación de un material o sus propiedades a causa de la acción del medio ambiente que lo circunda (Fontana, 1986). Sin embargo, existen otros materiales fuera de los metales como la madera, plásticos, etc., los que se pueden corroer, término que se utiliza casi siempre para la degradación de metales. Ciertas propiedades de los materiales se pueden modificar a causa de la corrosión, y esto puede generar fallas imprevistas. Estas modificaciones pueden ser desapercibidos en análisis visuales y/o transformaciones de peso. Mientras dura el proceso de corrosión, el metal invierte el proceso artificial para retornar a su natural estado. La velocidad de retorno del metal a su natural estado como un mineral. es directamente proporcional a la magnitud de energía acumulada por éste (Fontana, 1986).

Lo que se genera a causa de la corrosión del hierro, es el óxido que posee la misma composición química de la hematita que es la forma mineral del ácido férrico. La energía necesitada para transformar el hierro natural a hierro metálico se retorna en el momento en que el hierro se corroe para generar el mismo compuesto, la única transformación es la velocidad de liberación de la energía (Torres y otros, 2006).

El fenómeno de corrosión en las zonas costeras se presenta especialmente por el proceso de corrosión debido a la acción de cloruros, ya que los iones de cloruro que están en el ambiente entran en el hormigón acabando con toda la capa protectora que recubre el acero de refuerzo y generan una zona donde se separa la corriente denominada zona anódica frente a la protección catódica, donde las condiciones que no son favorables de la superficie generan una exhaustiva y veloz penetración de la corrosión dentro del acero de refuerzo. La presencia de cloruros dentro del concreto se puede presentar a causa de sus componentes como son: Cemento, agua, agregados, aditivos o el mismo ambiente. El componente del cemento que hace reacción con iones de cloruro es el aluminato tricálcico (C3A) generando cloro aluminato cálcico, que genera la reducción del pH y esto genera el medio ácido que provoca la corrosión (Paredes y otros, s.f.).

Casi todas las estructuras de concreto se encuentran reforzadas con varillas de acero, y la corrosión de éstos conforma el motivo fundamental de su degradación en entornos marinos (Torres y otros, 2006). Cuando el acero embebido en el concreto se corroe, se absorbe una capa de la superficie del acero, y se forma una capa de producto corrosivo (óxido,  $Fe_3O_4$ , o hidróxido de hierro  $Fe(OH)_2$ , en el perímetro de la barra. El volumen que ocupa ese óxido o hidróxido es superior que el que ocupaba el acero original, generando presiones contra el concreto que está alrededor del acero, lo cual provoca que se formen grietas y desprendimientos del concreto, las cuales fuera de que no son estéticas, pueden reducir la fijación del acero, y de manera eventual la resistencia del componente estructural. La corrosión del acero en el concreto es estimada, según Pérez (2001) como una de las mayores dificultades para conservar la integridad de las obras civiles, puentes, túneles y carreteras.

El ion cloruro, de acuerdo con Pérez (2001) genera que se rompa la condición pasiva normal del acero en el concreto, y a su vez provoca que se produzca la corrosión. El umbral de cloruros que puede provocar que comience la corrosión se ha considerado en una concentración de 710 partes por millón (para un  $pH = 12.5$ ), por encima de esta concentración la película generará fallas de forma irreversible. El ataque de cloruros en el acero embebido en el concreto, a causa de un proceso electroquímico donde el agua se encuentra presente y esta trabaja como electrolito, provoca oxígeno el cual se reducirá en el cátodo. El ion cloruro ataca el acero formando  $FeCl_2$ , y como reacción secundaria se constituye  $Fe(OH)_2$ , provocando que el ion  $Cl^-$  libre vuelva a atacar (Cerpa, 2016).

### **4.1.3 Concreto armado o reforzado**

Corresponde a la unión entre el acero y el concreto para otorgarle mayor resistencia y/o para brindarle otras cualidades a fin de generar un material que tenga mayor utilidad; puesto que el mismo concreto es frágil frente a las fuerzas de tracción, entre tanto, el acero sí puede aguantar dichas fuerzas, aunque posee un peso concreto y el precio es superior. Estas y otras clases de inconvenientes que presentan estos componentes reducen en gran parte su aplicabilidad cuando se utilizan de forma paralela (Barrueto, 2019).

Se estima que el concreto armado es admitido en todo el mundo, ya que es bastante sencilla la consecución y/o transporte de los materiales requeridos para su fabricación, como son: Cemento, agregados, agua y refuerzos de acero (Ottazzi, 2015).

La construcción del concreto armado es similar para casi todas las edificaciones, inicialmente se deben colocar las armaduras de acero del componente estructural, y posteriormente se vierte el concreto dentro de los encofrados que se han colocado con antelación, proceso que se vuelve a realizar para de esta forma crear uniones homogéneas (Barrueto, 2019).

Los sistemas estructurales con concreto armado pueden ser de cuatro clases como se señala a continuación.

- Viviendas hechas de pórticos: Donde por lo menos el 80% de la fuerza cortante basal se produce en la base de los pórticos.
- Construcciones con un sistema estructural de muros: Donde por lo menos el 70% de la fuerza cortante de los cimientos del edificio, lo soportan los muros.
- Viviendas de sistema estructural dual: Método equilibrado donde intervienen los dos sistemas señalados anteriormente. Los muros pueden tener entre un 20% y un 70% de la fuerza cortante provocada por el sismo; entre tanto, el resto debe ser soportado por las columnas.
- Edificaciones de muros de ductilidad limitada: Este sistema utiliza solamente muros de concreto armado, pero con espesores bastante disminuidos (Barrueto, 2019).

Como se señaló anteriormente, el concreto armado o reforzado es aquel que se le agrega un refuerzo de acero en barras, mallas electrosoldadas, pernos con cabeza y fibras de acero deformadas esparcidas, con el propósito de cubrir, asimilar o adaptar los esfuerzos que el concreto por sí mismo no lo puede efectuar. Dentro de las particularidades de los materiales que transforman la fusión entre concreto y acero de refuerzo en un eficaz material estructural, según Segura (2011) son las que se mencionan a continuación.

- La apreciable resistencia a la compresión del concreto y el empuje, presión o tensión del acero que hacen factible fusionarlos dentro de la sección estructural, de tal manera que estos materiales se usan de una forma inmejorable.
- La correspondiente semejanza de los coeficientes de dilatación térmica de los dos materiales posibilita su fusión para que pueda ser supeditada a distorsiones a causa de cambios de temperatura normales para estructuras.
- El concreto se convierte en salvaguarda y cobertura del acero cuya resistencia a la corrosión es menor.
- La reducida conductividad térmica del acero es conveniente para proteger el concreto en el momento en que las estructuras puedan verse sometidas de forma temporal o constante al fuego (Cerpa, 2016).

#### **4.1.4 Estructuras de concreto simple o reforzado**

Habitualmente son ideadas y construidas a fin de sufragar una serie de requerimientos arquitectónicos, operativo organizacional, de conducta, de firmeza y seguridad, durante un determinado periodo sin que se produzcan costos imprevistos para su preservación o reconstrucción; período que conforma la vida útil proyectada que va a permanecer en servicio. Se utiliza casi siempre para construcciones tradicionales, este tiempo puede ser hasta de 50 años, aunque para obras de infraestructura, ciertas sugerencias establecen que ese periodo puede ser de 100 años o más (Del Rosal, 2017).

Sin embargo, lo señalado anteriormente no quiere decir que cuando se cumpla dicho tiempo de servicio, se deba echar abajo la estructura, solamente que el costo para preservarla y respaldar que se conservarán las condiciones originales en un futuro, puedan ser superiores de lo que se considera adecuado mientras el tiempo en que está establecido el proyecto. A causa de lo cual, cuando se llegue al tope de la vida de servicio de dicha estructura, se debe analizar si el venidero costo para su conservación y mantenimiento es sensatamente

razonable y justo, tanto a nivel técnico como económico, o si es más conveniente demoler y volver a construir la estructura de concreto.

Las afecciones o patologías que puede experimentar el concreto corresponde al análisis constante de los procesos y particularidades de las “enfermedades” o “imperfechos o daños” que puede llegar a experimentar el concreto, sus efectos, repercusiones y reparaciones. La afección o patología conforma la parte de la durabilidad que hace alusión a las señales o causas factibles y el dictamen de la degradación o deterioro que sufren las estructuras de concreto.

El deterioro corresponde al empeoramiento o degradación de las cualidades o particularidades de un material, de un componente o sistema de construcción. La degradación conforma la reducción de las características con el transcurrir del tiempo, y la durabilidad constituye el punto de partida del diseño dentro de la ingeniería y la construcción. El concreto está conformado por materiales de una forma equilibrada y adecuada, y es el componente que vela por la durabilidad de las construcciones.

En el tiempo de vida del concreto, éste puede experimentar deficiencias, afectaciones o daños que afectan o perturban su estructura interna y funcionalidad. Algunos de esos defectos pueden ser innatos porque se encuentran presentes desde que éste se construye; otros pueden haber atacado el concreto en alguna fase de su vida útil; y otros pueden presentarse a causa de accidentes. Los indicios que señalan que se están generando daños en la estructura, van desde manchas, transformaciones en el color, porque se hincha el concreto, grietas, pérdidas de masa, etc. A fin de definir las causas de estos defectos, se debe realizar un análisis a la estructura, lo cual abarca lo que se señala a continuación.

- Conocimiento previo en relación con la trayectoria o historial de la estructura de concreto, abarcando cargas de diseño, el hábitat que lo circunda, su configuración, la vida útil que se calcula, el procedimiento de construcción, el estado actual, el aprovechamiento que se le da, periodicidad de los daños, etc.
- Comprobación que posibilite determinar las verdaderas condiciones en las que está la estructura.

- Exploración de los elementos que han tenido daños, bien sea a través de valoraciones de campo, o por medio de pruebas que no lleguen a ser devastadoras.
- Constatación de aspectos de la mezcla de concreto que puedan ser fundamentales para el dictamen, como, por ejemplo, la consistencia que tenga dicha mezcla, tamaño límite efectivo del agregado grueso que se utiliza, contenido de aire, procedimiento para definir las resistencias de compresión, flexión y tracción, constatación de particularidades especiales o adicionales, de acuerdo con las necesidades.
- Conocimiento de la clase, proporción y dimensión de los procesos de afectación o degradación de las armaduras de refuerzo, los cuales en el tiempo definen la resistencia, rigidez y permeabilidad de la estructura, haciendo hincapié que dentro de sus condiciones superficiales repercuten, y todo se ve proyectado en su seguridad, impermeabilidad y aspecto; en definitiva, en su comportamiento y vulnerabilidad.
- Constatar que el acero de refuerzo posea la resistencia que demanda el ingeniero estructural conforme a las indicaciones señaladas dentro de los planos y cálculos efectuados de las estructuras. El ingeniero constructor y el supervisor deben constatar que se estén cumpliendo las normas pertinentes.

El análisis de durabilidad de las estructuras de concreto se ha desarrollado por el avance en el conocimiento de los sistemas de transporte de líquidos y gases hostiles en el concreto, de igual manera, posibilita valorar la vida útil de una estructura en el tiempo, la cual se manifiesta en número de años, más no en juicios subjetivos como “más o menos apropiada” para un determinado nivel de exhibición; se necesita conocer, valorar, categorizar el nivel de agresividad del ambiente, así como conocer el concreto y la estructura, instaurándose una correlación entre la agresividad del medio y la durabilidad del concreto de la estructura.

La degradación o deterioro del concreto también se puede agravar a causa de tres factores: La humedad, la temperatura y la presión. El factor correspondiente a la humedad es el más esencial dentro del concreto, mas no en la atmósfera que lo rodea, pero ésta les aporta a los fenómenos de degradación cuando existen ciclos de secado y humedecimiento en el

concreto. En relación con la temperatura, es esencial ya que tiene injerencia en la velocidad con la que se pueden presentar sucesos de deterioro en el concreto. Las reacciones químicas experimentan intensificación debido al incremento de la temperatura, ya que se estima que, si se incrementa en 10°C, se duplica la velocidad de la reacción, el clima tropical es estimado más agresivo que otros climas (Del Rosal, 2017).

La injerencia de la presión atmosférica y los vientos está dada en relación con la durabilidad, ya que aportan a la degradación o deterioro a causa de la erosión de partículas que son movidas o transportadas por el viento y que pueden impulsar los ciclos de humedad y secado, o perjudicar los ciclos de enfriamiento y calentamiento de la superficie terrestre.

Para establecer la durabilidad de las estructuras de concreto, se deben tener en cuenta los aspectos que se mencionan a continuación.

- La categorización de la agresividad del medio ambiente
- La categorización de la resistencia del concreto a la degradación o deterioro
- Los modelos (fundamentalmente numéricos) de la degradación y antigüedad de las estructuras de concreto.
- La vida útil que se espera de estas estructuras, es decir el tiempo que se espera que la estructuras cubran determinadas exigencias funcionales con un mantenimiento menor (Del Rosal, 2017).

#### **4.1.5 Problemáticas o patologías que pueden experimentar las estructuras de concreto en su vida útil**

Estas se pueden presentar por diversas causas, las cuales se señalan en la Tabla 1. Problemáticas de las estructuras de concreto en su vida útil a continuación

**Tabla 1. Problemáticas de las estructuras de concreto en su vida útil**

Problemática	Descripción
Problemáticas que se presentan por defectos	Tienen que ver con las particularidades propias de las estructuras y se pueden generar por malos diseños, malas formulaciones estructurales y

Problemática	Descripción
	procesos de construcción, por utilizar materiales no apropiados o de calidad baja Rivva citado en (Villalba, 2021)
A causa del del deterioro de la estructura	Son las problemáticas generadas por el paso del tiempo provocadas por las particularidades del entorno como: Ciclos de lluvia y sol, contacto con sustancias químicas, abrasión, efectos del medio ambiente, etc., para esta clase de efectos es fundamental considerar el mantenimiento de la estructura, puesto que esta clase de degradación no se puede impedir.
<b>Factores que perjudican el proceso de deterioro</b>	
El proceso de degradación se hace más gravoso a causa de tres factores: humedad, temperatura y presión, el más importante es la humedad en la estructura y el entorno que la rodea, puesto que esta se ve perjudicada en los procesos de humedecimiento y secado de la estructura. La temperatura incide en la velocidad con la que suceden los procesos de degradación, donde las reacciones químicas se aceleran si la temperatura aumenta, uno de los motivos por los que se estima que los climas tropicales son más perjudiciales. En relación con la presión, genera una acción superior en las estructuras que están sumergidas ya que esto fomenta la penetración de elementos que perjudican el concreto; de igual forma, puede ocurrir que en ciertas condiciones el viento pueda llegar a traer partículas que tienen un efecto abrasivo.	
Durabilidad	Conforma la particularidad que tiene el material para soportar los efectos de degradación provocados por el medio que lo circunda.
<b>Mecanismos de daño</b>	
Son las acciones o reacciones que perjudican la durabilidad del concreto (Sánchez, 2002)	
Acciones físicas	Corresponde a las transformaciones volumétricas o de masa que experimenta el concreto a causa de los cambios en humedad, temperatura, porosidad, permeabilidad, etc. (Sánchez, 2002)
Acciones mecánicas	Los efectos de degradación vinculadas con esta clase de acciones mecánicas son: Deformaciones, fisuras, deflexiones, movimientos excesivos o inesperados, aplastamiento, abrasión, fracturas, vibraciones, impactos y los que se produzcan por el uso de la estructura (Sánchez, 2002)
Acciones químicas	Como, por ejemplo: La carbonatación, sulfatos, formaciones de sales, ataques de ácidos, reacción álcalis, agregado y corrosión (Sánchez, 2002)
Acciones biológicas	Se genera deterioro en las estructuras de concreto a causa de interrelaciones, existencia de organismos o microorganismos vegetales o animales que pueden tanto afectar la estética misma de la estructura y pueden generar otra diversidad de perjuicios; daños que se pueden determinar cómo: Biomecánicos, biofísicos y bioquímicos; los biofísicos y biomecánicos perjudican la resistencia, rigidez y permeabilidad del concreto; los bioquímicos generan transformaciones en los compuestos del concreto y sus agregados provocando diversas patologías.
Agresividad del medio ambiente	El entorno que circunda la estructura influye en los procesos de degradación, por ende, se debe tener en cuenta: El macro clima, el clima y el microclima; los cuales se distinguen por la cercanía que estos tengan con la estructura del concreto. El macro clima corresponde al más alejado haciendo alusión al clima de la ciudad donde esté ubicada la estructura, el microclima corresponde al más cercano o en cercanías a la estructura. Para

Problemática	Descripción
	categorizar la agresividad del entorno, se debe considerar las particularidades de los climas y las propiedades del concreto.
Fisuras	Se presentan cuando el concreto comienza a dividirse en dos o más partes, se deben restaurar antes de que puedan tener implicancia con la rigidez de la estructura o provocar otros efectos de degradación (American Concrete Institute, 2001)
Corrosión	Cambio a nivel químico de los elementos que constituyen el acero como integrantes del concreto (Cortes & Perilla, 2017)
Descohesión	Corresponde a una problemática que puede suceder cuando se ve reducida la adherencia entre los elementos que conforman el concreto, provoca menoscabo de las particularidades mecánicas originales del concreto, fuera de poros y fisuras sin que la estructura modifique su forma.
Meteorización	Es la perturbación a nivel mecánico, químico o físico que perjudica el concreto generada por la acción de la intemperie como la lluvia, los vientos, el sol, el hielo, etc. Problemática relacionada con los cambios de presión, temperatura y humedad del entorno que circunda la estructura
Crecimiento en la masa de concreto	Se puede provocar por otras problemáticas que provocan productos que incrementan su volumen como: Ataques de sulfatos y reacción álcalis agregados, las particularidades de un crecimiento generado por ataques de sulfato son: fisuras, ablandamiento, descascaramiento, se puede producir rigidez y resistencia, o presentar transformaciones en el pH que generan la despasivación del acero.
Despasivación del recubrimiento	Problemática que se presenta debido a la carbonatación de la capa de recubrimiento, posibilitando que pasen agentes patógenos al acero como el agua, oxígeno y otras sustancias que pueden hacer reacción con el acero, así mismo, se puede generar penetración o absorción de agua con cloruros provocando corrosión en el acero.

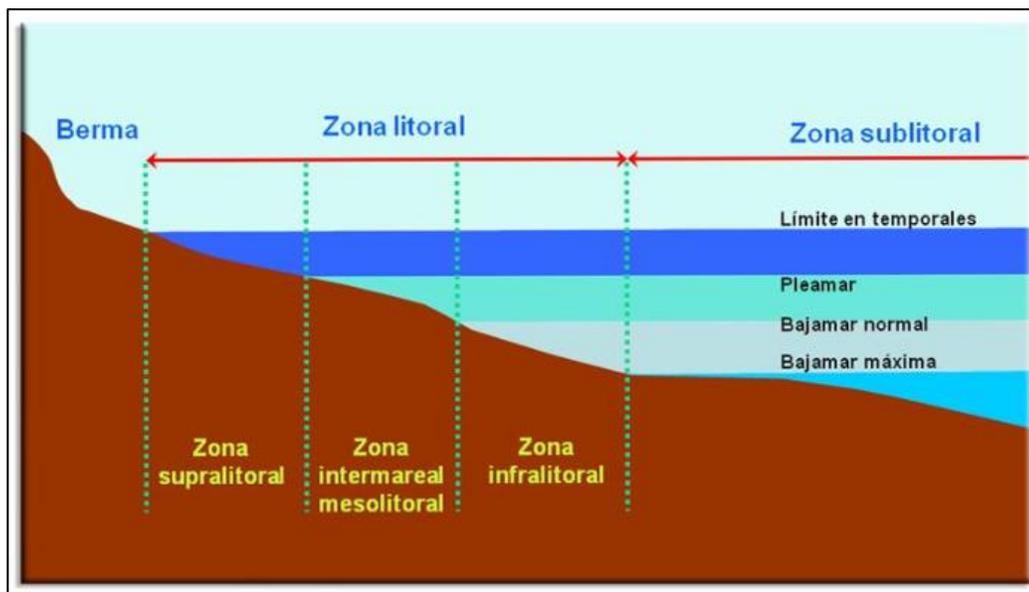
Fuente: Villalba (Villalba, 2021)

Para el mantenimiento de las estructuras de concreto durante su vida útil, es fundamental realizar estudios exhaustivos de las diversas dificultades que éstas pueden enfrentar, para la preservación de éstas.

## 4.2 Litoral

El área litoral conforma una franja paralela a la costa donde el tope o límite del agua cambia según el movimiento de las mareas. Conformando una zona de interconexión entre la atmósfera, hidrósfera, geósfera y biósfera, que genera una configuración específica llamada litoral, el cual se puede separar en tres zonas, según Maldonado y Zamarreño (1983) como se señala a continuación.

- Zona supralitoral: la cual se encuentra entre la pleamar (que es la altura máxima del agua del mar o marea alta) y el límite de acción del mar en Temporales (Vientos fuertes que generan oleajes de determinada fuerza).
- Zona meso litoral o intermareal: que abarca la pleamar y la bajamar (menor altura del agua o marea baja).
- Zona sublitoral: abarca desde el límite inferior que alcanza el oleaje hasta el borde de la plataforma continental, cerca de los 200 metros de profundidad.



Fuente: (Ramírez, 2017)

Dentro del curso de la historia a nivel geológico, las costas han presentado cambios por vulneraciones o regresiones, donde las glaciaciones y movimientos tectónicos han generado que existan oscilaciones y cambios en el nivel marino. De tal manera que, las zonas costeras incluyen todas las formas del terreno que hayan surgido por la acción marina, así en la actualidad estos terrenos no estén en contacto con el mar.

Las costas se clasifican según sus particularidades, las cuales se señalan en la Tabla 2. Clasificación de costas según a continuación.

**Tabla 2. Clasificación de costas según sus características**

Particularidades de costas	Descripción
Cambio relativo del nivel del mar	
Costas bajas	Son las costas de emersión o levantamiento, a causa del levantamiento de bloques de corteza o declive en el nivel del mar, se forman por los depósitos sedimentarios por encima del nivel actual de las aguas, como, por ejemplo: plataformas de abrasión, acantilados, etc., y presentan diversos accidentes litorales deposicionales como albufera, cordones, deltas, etc.
Costas altas	Se denominan costas de inmersión o hundimiento a causa de que surgen por hundimientos tectónicos de bloques o la subida del nivel del mar.
Desembocaduras fluviales inundadas (estuarios) con costas más o menos accidentadas (llanuras costeras, rías, fiordos, etc.	
Costas neutras	A causa de que no ha existido ningún movimiento entre el nivel del mar y el continente, se forman por la contribución de materiales al agua. Dentro de las costas neutras están los deltas de los ríos que se forman por lavas volcánicas en el momento en que los productos de la erupción llegan al mar, así como las costas de formaciones coralinas bastante abundantes en mareas tropicales.
Según de donde provengan los materiales	
Costas de avance o acumulación	Cuando provengan principalmente de arrastre fluvial. Poseen diversidad de sedimentos aluviales, lo cual hace que sus costas sean bajas, llanas y rectas y tengan formaciones deltas, arrecifes, barras, albufera, etc.
Costas de erosión o abrasión	Los materiales provienen de erosión y transporte a través del agua del mar. Estas aguas pueden ser altas, rocosas, con acantilados, fiordos, bahías, etc., o bajas arenosas y forman playas.

Fuente: Ramírez (2017)

Esta categorización, permite determinar los cambios que experimentan las costas y playas en el mundo.

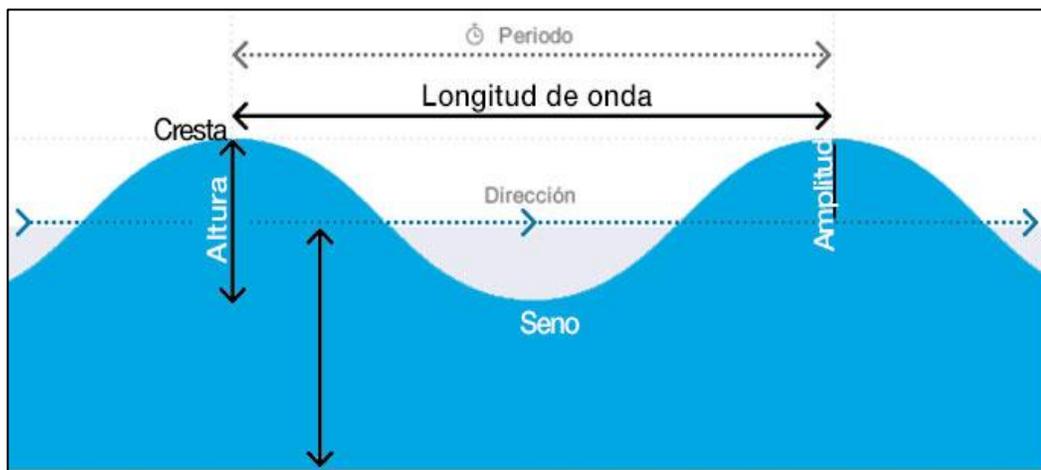
#### **4.2.1 Relieve del litoral**

Existen múltiples factores que generan condiciones para el relieve del litoral como son las particularidades de comunidades vivas, particularidades continentales (especialmente la litología y la estructura), aunque lo de mayor trascendencia es la acción de los agentes marinos como olas, mareas y corrientes. Los agentes del clima del mar cuando generan actuaciones sobre el medio lo modifican, provocando que existan cambios en su forma a través de procesos costeros, generando un medio más activo; los componentes más

fundamentales de la dinámica del litoral lo conforman: el Oleaje, las corrientes marinas y las mareas, las cuales se describen a continuación.

- Oleaje: Corresponde a la serie de ondas u olas y son los movimientos ondulatorios del mar que son provocados por el viento en zonas oceánicas, los cuales se mueven hacia la línea de costa. Se pueden generar a su vez, por movimientos sísmicos y erupciones volcánicas submarinas. Las características que determinan una ola son: i) Altura (H), distancia vertical entre el interior y la cima o cresta de cada ondulación; ii) Periodo (T) tiempo que pasa desde que un punto de la superficie del agua está en la cima o cresta de una ola, y que pasa sobre él hasta que ese mismo punto vuelve a estar en la cima o cresta de la ola posterior; iii) Longitud de onda (L) distancia horizontal que se mide en el mismo sentido en que avanzan las ondulaciones entre dos crestas de olas sucesivas; iv) Dirección de avance de la ola (D), como se puede observar en la Figura 4. Características que definen una ola a continuación

**Figura 4. Características que definen una ola**



Fuente: Ramírez (2017)

Las olas que se generan en el océano tienen una elevada variedad de periodos, aunque hay olas que son de mayor energía y que son fundamentales para la ingeniería de las costas, que son aquellas que provoca el viento. El oleaje de viento corresponde a la oscilación típica que se observa en una costa, no impulsa masas de agua, a excepción de los procesos de rotura. Lo que se esparce es la perturbación, mas no la masa de

agua. El oleaje que provoca el viento está simbolizado por las ondas de gravedad (las de mayor energía) y se denominan así, ya que la fuerza esencial que interviene sobre ellas después de que surgen, es la gravedad (Ramírez, 2017).

Dentro de las ondas de gravedad existen dos clases: Oleaje en áreas de producción donde el viento que sopla se llama SEA o local, y el oleaje que únicamente se conserva a causa de la gravedad, y que ha viajado posiblemente muchos kilómetros desde la zona en que se produjo, al cual se le llama SWELL o distante (Rosales, 1999).

El oleaje SEA no posee un periodo ni altura determinados, las olas se expanden en cualquier dirección, pero su directriz fundamental es la que el viento le concede, se le llama Fetch la longitud de la superficie sobre la que actúe el viento que la genera, dentro de las particularidades de esta clase de oleaje es la asimetría y la agilidad o esbeltez crítica (de gran peralte); mientras que en el oleaje SWELL las olas están bien armonizadas, con crestas y valles de las ondas bien formadas y tienen una dirección imperante. Las ondas que tienen distintas velocidades se fortalecen al aproximarse a la costa, y allí se transforma a causa del fondo. Dentro de las particularidades de esta clase de oleaje están: i) Pérdida de energía, ii) las olas se encaminan de acuerdo con su propia fuerza, iii) Tienen dispersión tanto angular como radial, es decir que, las ondas, de un lado se encaminan en diversas direcciones, pero, por otra parte, las ondas se fusionan unas con otras haciendo más sencilla su forma, y cuando se aproximan a la playa, cambian a causa de la fricción con el fondo del mar (Ramírez, 2017).

- Corrientes marinas: Se clasifican como superficiales, profundas o corrientes de turbidez, las cuales se explican en la Tabla 3. Clasificación de corrientes marinas a continuación.

**Tabla 3. Clasificación de corrientes marinas**

Clase	Descripción
Superficiales	Surgen a causa del viento provocado sobre la superficie, tienen injerencia en los primeros 300 o 400 m. Transportan material fino por suspensión. En zonas tropicales donde existe mayor velocidad pueden cambiar la morfología de la costa, creando

Clase	Descripción
	cordones litorales o flechas, si estas corrientes llevan o transportan arcilla, pueden generar corrientes de turbidez.
Profundas	Son provocadas por mareas, el movimiento que tienen estas mareas es vertical, pero provoca traslado lateral por convección a través de materiales fluidos con células de diferente profundidad, y no pueden erosionar, pero sí poseen la capacidad de transportar
De turbidez	Esta corriente posee bastante material arcilloso, se genera en el talud continental

Fuente: Ramírez (2017)

- Mareas: Las olas del océano que tienen mayor longitud de onda se encuentran relacionadas con las mareas, y tienen la particularidad de que cuentan con una elevación y caída acompañadas del nivel del mar por varias horas. Las mareas corresponden a movimientos constantes y que se presentan en ascensos y descensos del nivel del mar que se generan por la atracción de la gravedad que ejerce sobre la tierra y la luna, el sol especialmente. En las mareas intervienen tres fuerzas: atracción de la luna, fuerza de la gravedad de la tierra y la fuerza centrífuga que provoca que los objetos se desplacen hacia el exterior a causa del giro de la tierra.

Dos veces al día todo punto de la superficie de la tierra se encuentra alineado directamente con la luna, ya que existen dos elevaciones de mayor amplitud (pleamar o marea alta), y otras dos de baja amplitud (bajamar o marea baja). La pleamar, se genera en el área donde la tierra se encuentra más cercana a la luna (pleamar proximal), lo cual es menor en la que es contraria (pleamar distal). El mínimo nivel de bajamar se genera en áreas ubicadas a 90° de las anteriores. Existen dos mareas altas al día, y dos bajas cada 12 horas y 26 minutos. Los efectos que generan las mareas son: erosión, transporte y sedimentación al ascender o descender el nivel del mar (Ramírez, 2017).

#### 4.2.2 Propagación del oleaje hacia la costa

La propagación es la traslación de las olas por la superficie del mar, se deben conocer las particularidades cuando el oleaje se acerca las costas, llega a ellas y choca con éstas. Cuando en altamar se produce oleaje a causa del viento, éstas llegan a la costa casi siempre como un grupo de olas que se aproximan en un sentido y poseen unas particularidades, que determinan cada ola, como son: altura, periodo, longitud de onda y dirección de avance de la ola. Teniendo en cuenta estas particularidades, el proceso de oleaje no es uniforme ni fijo, sino que cada una de las olas posee sus propias particularidades que cambia según el entorno y el tiempo.

De esta manera, para describir el oleaje dentro de la dinámica del litoral se debe tener en cuenta lo que se llama frente, el cual tiene injerencia en un pedazo específico de costa y para el cual se usan unos parámetros definidos con base en una sucesión de olas individuales, conseguidos en un sitio y plazo específico a fin de poder tener en cuenta el proceso estático y uniforme mientras dure el muestreo. Por lo tanto, existen unas definiciones de las particularidades que determinan el frente de las olas, según lo señalan Almazán, Palomino & García (2000).

- Altura de ola significativa ( $H_s$  o  $H_{1/3}$ ): parámetro estadístico que surge del cálculo de la media de las alturas de ola del tercio de olas más elevadas dentro del conjunto de olas que se tuvo en cuenta.
- Altura máxima de hola ( $H_{\text{máx. N.}}$ ); altura máxima de ola dentro del conjunto de grupo de  $N$  olas tenido en cuenta.
- Periodo significativo ( $T_s$ ): media de los periodos del tercio de olas más elevadas dentro del conjunto de olas tenido en cuenta.
- Periodo medio  $T_m$ : media de periodos del grupo de olas tenido en cuenta.
- Dirección media ( $D_m$ ): media de las direcciones de propagación del grupo de olas tenido en cuenta.

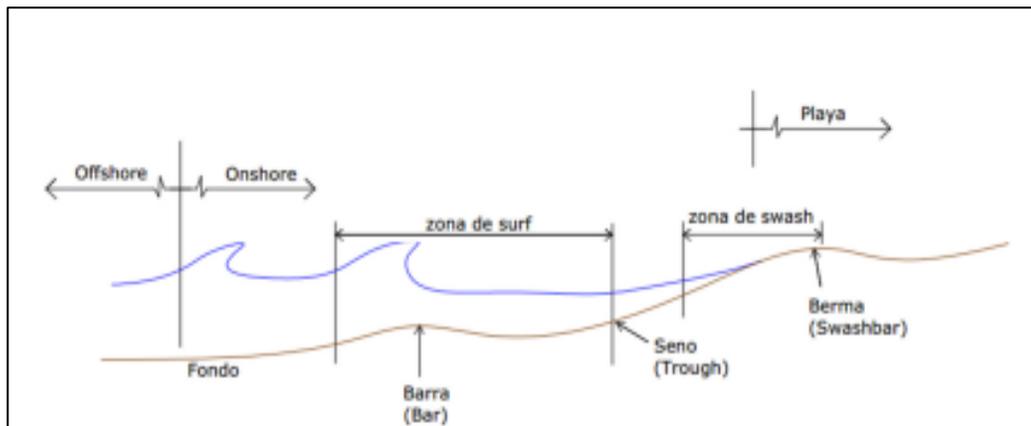
De esta manera, un frente de olas que se difunde desde alta mar hasta la costa se determina por una  $H_s$ ,  $T_s$  y  $D_m$ .

Por otro lado, el proceso de proximidad de las ondas marinas a la tierra puede ser modificado debido a los fondos marinos y formas costeras. Dentro de los efectos más fundamentales por la interrelación del oleaje con la costa son: refracción, difracción y reflexión que son sucesos que le ocurren al oleaje en movimiento cuando se difunden en aguas someras o contra obras, arrecifes o acantilados (Ramírez, 2017).

### 4.2.3 Zonas litorales

Existe igualmente, una categorización de zonas del litoral fundamentada en las particularidades del oleaje incidente (Martínez, 2013), según se observa en la Figura 5. Categorización de zonas del litoral a continuación

**Figura 5. Categorización de zonas del litoral**



Fuente: Ramírez (Ramírez, 2017)

- Zona de plataforma: corresponde a la zona donde el oleaje no ha sido perjudicado por la batimetría, lo que significa que las particularidades del oleaje no se encuentran controladas por la topografía del fondo del mar.
- Zona de somerización y refracción: El fondo del mar perjudica el oleaje incidente, y esto genera un incremento de la altura de ola (efecto de shoaling o peraltaiento) y una

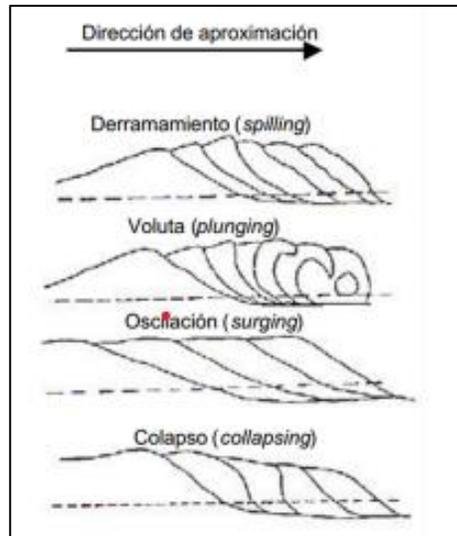
transformación en la orientación a causa de la refracción con base en la batimetría del área.

- Zona de rotura: Conformar el área donde la ola logra su máxima altura lo que genera su rotura, a causa de la refracción que experimenta.
- Zona de surf: la ola rota y procede hacia la costa formando un resalte (bore) ubicado en el frente de la ola.
- Zona swash: la ola rota llega a la línea de costa subiendo por la superficie del área interlitoral /run-up) y después desciende a causa de la gravedad (rundown).

#### **4.2.4 Rotura y disipación de energía**

Es fundamental para los procesos litorales la rotura del oleaje ya que es el causante esencial de los fenómenos en la generación de los litorales. En el momento en que la ola choca o rompe, la turbulencia relacionada con la rotura fuera de mitigar la energía de las olas es uno de los mecanismos que producen corrientes, por lo tanto, también se encarga de llevar sedimentos. También en zonas de aguas someras, la rotura puede generar limitaciones cuando se define la altura de la ola de diseño de estructuras marítimas.

La rotura del oleaje puede generarse en aguas profundas y en aguas someras, y el proceso es diferente en las dos situaciones. Dentro de aguas profundas el viento habitualmente es el que provoca su rotura a causa de la desproporcionada cantidad de energía que brinda. Y en aguas someras, el oleaje cuando llega a la costa es afectado por el fondo, puesto que la rapidez de la ola es proporcional a la raíz cuadrada de la profundidad, el frente de onda se transporta a una menor velocidad que la cresta de la onda, generando un vuelco de la cresta en la denominada zona de rompimiento o surf. Las clases de rotura que existen se presentan en la Figura a continuación



Fuente: Ramírez (2017)

- **Decrestamiento (spilling):** Se presenta cuando olas con un peralte superior impactan en las plantas con peralte elevado y con pendientes suaves. Para el decrestamiento, el agua que está cerca de la cresta se vuelca, mientras que la cresta de la ola adquiere forma de filo con decremento de profundidad, y conserva una forma casi desigual de una ola constante. Esta clase de rotura junto con la voluta llevan el mismo proceso, pero son diferentes en la magnitud del vuelco (Ramírez, 2017).
- **Voluta (plunging):** surge en playas con pendientes empinadas. Las olas adquieren formas afiladas en la cresta, y después la ola se vuelca y la cresta se destruye en el agua. Esta clase de rotura genera una deformación de la ola antes de chocar y romperse, es más veloz que la que surge cuando la ola choca como en el decrestamiento. El movimiento del agua es más agresivo, es habitual que surjan burbujas en el punto donde la ola vuelca y se introduce en el agua (Ramírez, 2017).
- **Oscilación (surging):** sucede en playas con pendientes altas, se forma la cresta que no alcanza a volcarse y se atenúa cuando las olas suben y bajan a causa del talud con un mínimo de aire atrapado, se percibe reflexión superior (Ramírez, 2017).
- **Colapso (collapsing):** la ola empieza a venirse abajo por su base y cae o colapsa, el aire queda hasta cierto punto retenido y forma espuma. La etapa de ascenso-descenso

concuerta con la etapa del oleaje y el flujo sobre el talud llega a topes máximos. La reflexión empieza a reducirse a causa de la pérdida de energía generada por la turbulencia (Ramírez, 2017).

#### **4.2.5 Los ecosistemas litorales y sus riesgos**

Estos están constituidos por especies que se encuentran aclimatadas a sucesos y fenómenos de considerable extremidad, como, por ejemplo, el elevado nivel de humedad, salinidad, mareas y vientos que acostumbran a tener la particularidad de que tienen una aguda fragilidad, de tal manera que si se transforman estas condiciones originales tendría injerencia significativa en la supervivencia del ecosistema. De igual forma, ciertas especies como las fanerógamas marinas (Ramírez, 2017), o la vegetación de las dunas (McHarg, 2000) aportan concretamente la regularización de los procesos litorales. Por ejemplo, en el mediterráneo, sobresale la Posidonia oceánica, que es una especie de fanerógama marina endémica que tiene la particularidad de que es una longeva milenaria, e igualmente, tiene un desarrollo bastante lento, y también una reproducción no tan habitual (Ramírez, 2017).

Siendo ésta una especie de origen terrestre que está acoplada a vivir en el fondo del mar, su estructura y manera de desarrollarse es parecida a la de cualquier planta de la tierra, pero su fragilidad es elevada a causa de las condiciones concretas que requiere para sobrevivir: enormes cantidades de luz y aguas transparentes, sustrato arenoso estable a fin de arraigar sus raíces. De igual forma, las praderas ayudan a mitigar la energía del oleaje haciendo más difícil el transporte de sedimentos, así como el aterramiento, la turbidez del agua, y la falta de luz por varios meses, que no puede pasar de un año (Medina y otros, 2001).

Por lo tanto, para realizar actuaciones dentro del litoral, especialmente enfocadas a su salvaguarda y restauración, es esencial conocer el comportamiento y requerimiento de los ecosistemas que han aportado por muchos siglos a su permanencia o estabilidad (Rodríguez, 2015)

Existen diversos riesgos en relación con el deterioro de los ámbitos físicos de los litorales que se presentaron especialmente en los años 60 y 70 y que corresponden a la falta

de comprensión de los procesos litorales, en donde cada componente tanto físico como biológico cumple una función específica en cuanto al desarrollo y equilibrio a nivel costero, y la determinación entre interés general y desarrollo económico; lo anterior, a causa de que el desarrollo urbano y económico modificó los procesos físicos de un ecosistema vivo y débil, especialmente, en lo que tiene que ver con los aportes dados por los sedimentos, generando especiales procesos de erosión (Ramírez, 2017).

Hacia adentro de la tierra, tiene que ver con el encausamiento de los ríos, construcción de embalses, así como la fijación del suelo alrededor de los cauces; y a nivel de la costa, la ocupación de sistemas dunares y trasplayas por parte de urbanizaciones, desecación de humedales, construcción de puertos y obras rígidas que hacen parar el transporte longitudinal de sedimentos y la cimentación de elementos como paseos marítimos e infraestructuras para cambiar el perfil equilibrado que poseen las playas (Ramírez, 2017).

Aunque la erosión no conforma la única dificultad que existe. De igual forma, existen los vertidos tanto urbanos como industriales, contaminación térmica del agua y el aumento en el nivel de salinidad, generan desigualdades en la calidad de las aguas que pueden llegar a perjudicar considerablemente a los mismos ecosistemas litorales, con relación a los recursos y obstáculos que trabajan como protección natural de la costa. También existe el riesgo generado por las especies invasoras bien sea desde la tierra con la incorporación de especies exóticas traídas de jardines privados, o provenientes del mar, por medio de cascos de buques marítimos (Rodríguez, 2015).

De igual manera, están los riesgos provenientes por los mismos procesos litorales, como temporales marítimos, inundaciones por oleaje o lluvias torrenciales, desprendimiento de acantilados, pero se puede adicionar los que se presentan a causa del cambio climático, como la subida general de la temperatura que puede provocar la subida del nivel del mar, cambios climáticos a todo nivel con incremento en la frecuencia e intensidad de ciertos fenómenos meteorológicos y el incremento del estrés de los ecosistemas tanto a nivel de la tierra como del mar, generando que desaparezcan ciertas fuentes de alimentos y haciendo factible que aparezcan epidemias. De esta forma, no todas las dificultades que se presentan

en el litoral poseen una solución total, pero se deben conservar las actividades que ya existen dentro de este ambiente (Rodríguez, 2015).

### **4.3 Vulnerabilidad**

El progreso en los procesos de construcción ha permitido entender que los edificios o estructuras que se han construido con materiales de concreto y acero tienen mayor eficiencia que los que se construyen con mampostería, teniendo en cuenta que los de mampostería no aplican ninguna norma sísmo-resistente. Aunque actualmente existen diversas construcciones de adobe, se deberá efectuar un estudio a dichas estructuras para respaldar comportamientos supervisados frente a eventos sísmicos en sectores específicos (Choqueza & Molluni, 2018).

Dentro de los comportamientos fundamentales para valorar el riesgo de un sismo se encuentra la vulnerabilidad de las construcciones realizadas por el ser humano, por lo tanto, los materiales y el sistema de construcción, conforman entre otras, parte de las particularidades fundamentales de ésta. Uno de los aprendizajes que ha permitido dejar la experiencia de los terremotos, tiene que ver con el hecho de que se debe reconocer que existen estructuras de una misma clase que pueden llegar a experimentar un nivel superior de daño a causa de un terremoto aunque estén ubicados en el mismo sitio; lo cual deja ver la trascendencia de que existen edificios o estructuras con una mejor calidad a nivel estructural que otros, por lo tanto, se puede definir la vulnerabilidad sísmica como la capacidad que tienen los componentes estructurales de una edificación para soportar un terremoto (Criollo & Santisteban, 2018).

De igual forma, es integrante de la vulnerabilidad las situaciones que pueden experimentar las construcciones, la vulnerabilidad que tienen los componentes no estructurales, el cual hace alusión a los componentes de una edificación que se encuentran ligados a los elementos estructurales que no cumplen funciones fundamentales dentro de la edificación, y ninguno de estos componentes integra el sistema resistente de la construcción,

pero frente a un suceso de sismicidad, se pueden transformar en eventuales peligros (Criollo & Santisteban, 2018).

Por otra parte, según Alonso (2008) la vulnerabilidad conforma el grado de propensión que posee una estructura de padecer daños frente a un suceso sísmico, es decir que, corresponde al tope en el cual se rebasa el nivel de reserva, o el nivel con el que se cuenta de capacidad para hacerle frente a una amenaza sísmica conocida. El proceso de valoración abarca dos clases: tipificación y valoración de daños posibles, y la definición de sus casos. Dentro de los factores que tienen injerencia en la modificación de vulnerabilidad sísmica son: Factores geológicos, estructurales, arquitectónicos, constructivos y socio económicos (Criollo & Santisteban, 2018).

#### **4.3.1 Vulnerabilidades**

Algunas vulnerabilidades que existen se señalan a continuación.

- Vulnerabilidad estructural: hace alusión al nivel de susceptibilidad frente a los daños que pueden experimentar los elementos o componentes estructurales de una edificación o estructura con relación a las fuerzas sísmicas incitadas en dicha estructura, y teniendo una actuación junto con las otras cargas existentes en la estructura. Los componentes o elementos estructurales conforman las partes que sostienen la estructura de un edificio o construcción, y se ocupan de aguantar, soportar y remitir tanto a las cimentaciones, y, al suelo, las fuerzas generadas por el peso de la edificación, su contenido, al igual que las cargas generadas por los sismos. Entre dichos componentes están: las columnas, vigas, placas de concreto, marcos de albañilería, etc. Por lo tanto, un excelente diseño estructural conforma la base para que la totalidad de la edificación subsista frente a desastres naturales, como terremotos (Criollo & Santisteban, 2018).
- Vulnerabilidad no estructural: el objetivo de este análisis es definir la propensión o susceptibilidad a daños que pueden experimentar estos componentes, ya que, al producirse un sismo, puede suceder que la estructura no continúe estando habilitada

a causa de otra clase de daños de tipo no estructural; generados, por ejemplo, por desplome de equipos, componentes arquitectónicos, etc., pero la estructura como tal, continúa en pie (Criollo & Santisteban, 2018).

Dentro del sistema electromecánico de un edificio se encuentran, según Safina (2002): líneas de tubería, apoyos y conexión de equipos, etc. Así mismo, dentro de los componentes o elementos arquitectónicos se encuentran: Fachadas, vidrios, tabiques, mamparas, puertas, ventanas, escaleras, etc. (Alzate, 2019).

- Vulnerabilidad funcional: esta clase de vulnerabilidad busca definir la propensión o susceptibilidad de una edificación a experimentar o padecer un “desplome funcional” a causa de un sismo, lo cual, únicamente se puede percibir cuando sucede una emergencia. Para definir este tipo de vulnerabilidad, se valora lo relacionado a la infraestructura, donde se debe analizar primero el suministro de agua y energía eléctrica que conforman los componentes de mayor vulnerabilidad; de igual forma, se ven afectadas las tuberías de alcantarillado, gas y combustibles, por lo tanto, se efectúan análisis relacionados con la resistencia y flexibilidad (Criollo & Santisteban, 2018).

La parte funcional, según Safina (2002) también abarca un estudio pormenorizado de las zonas externas como, vías de ingreso a exteriores y su nexos con el resto de la ciudad, las conexiones, circulaciones tanto primarias como secundarias a nivel tanto privado como público y todos los accesos de zonas esenciales en las que está fraccionada la estructura. También se debe analizar que no se utilicen los ascensores, almacenamiento de escombros en escaleras y pasillos, así como el bloqueo de puertas (Alzate, 2019).

#### **4.3.2 Métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica**

De acuerdo con Alonso (2008) los métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica son los que se señalan a continuación.

- Empíricos; fundamentados en la experiencia previa y la observación sobre sucesos sísmicos generados en la zona de estudio.
- Analíticos: los utilizados para valorar las respuestas de la estructura cuando se somete a un suceso sísmico, usando modelos matemáticos, dentro de los cuales están: i) Análisis estructural aproximado; ii) Análisis estático lineal; iii) Análisis Estático no lineal; iv) Análisis dinámico lineal; v) Análisis dinámico no lineal.
- Métodos experimentales: se usan ensayos para calcular las propiedades y componentes de la estructura.
- Métodos de caracterización: Existen diversas maneras de determinar la existencia de una vulnerabilidad sísmica, considerando particularizar los daños generados, la probabilidad del daño, el tipo de estructura, la intensidad del movimiento, el estado límite de daño, el nivel máximo permitido. Dentro de los más destacados están: i) Curvas de fragilidad; ii) Matrices de probabilidad de daños; iii) Funciones de vulnerabilidad; iv) Índices de vulnerabilidad; v) Clases de vulnerabilidad.

De igual forma, Dolce (1994) sugiere estudiar por separado las fases esenciales que abarca un análisis de vulnerabilidad y tiene en cuenta tres clases de métodos que se señalan a continuación.

- Métodos estadísticos: fundamentados en un estudio estadístico de las construcciones caracterizadas por los datos de entrada.
- Métodos mecánicos: donde se analizan parámetros fundamentales que rigen el comportamiento dinámico de las estructuras como la ductilidad.
- Métodos fundamentados en métodos de opinión de expertos: en los cuales se valoran tanto cualitativa como cuantitativamente los factores que rigen las respuestas sísmicas de las edificaciones.

De otra parte, también se encuentra Allauca (2006) quien señala que los métodos para valorar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones se dividen en los métodos que se señalan a continuación.

- Métodos cualitativos: los cuales corresponden a los métodos más adecuados para evaluar edificaciones, ya que muestran resultados con mayor agilidad para una variedad de clases de construcción, que pueden ser decisivas para tomar determinaciones en relación con la reducción del riesgo dentro de una región específica, y clasifica estos métodos en los que predicen el daño y los que valoran la capacidad.
- Métodos cuantitativos: Se utilizan para reforzar los resultados conseguidos con los métodos cualitativos en el momento en que los métodos cualitativos no brinden resultados decisivos acerca de la seguridad de la estructura. Para efectuar un estudio de vulnerabilidad aplicando estos métodos, se requiere poseer información fundamental como: particularidades de materiales usados en la construcción, particularidades del suelo donde se cimentó la estructura y los planos estructurales, etc. Habitualmente los estudios de este método se efectúan a través de modelos matemáticos de la estructura y se deben tener en cuenta aspectos como: i) Área del edificio y cantidad de pisos; Sistema estructural sismo-resistente; iii) Área de componentes resistentes como columnas y muros; iii) Irregularidades estructurales en la construcción estudiada, etc. (Choqueza & Molluni, 2018).

## **5 Metodología**

### **5.1 Tipo de Investigación**

Para realizar el análisis de esta investigación se debieron implementar estrategias metodológicas de alcance descriptivo, ya que el objetivo según Hernández, Fernández y Baptista (2014), es describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos a fin de precisar la forma en que se presentan; especificando propiedades, particularidades y perfiles de individuos, grupos, procesos, objetos o cualquier otra clase de fenómeno que se pueda someter a un estudio, ya que el objetivo principal de este estudio es realizar una revisión bibliográfica sobre vulnerabilidad y afectaciones generadas a las estructuras de concreto por agentes externos en los litorales.

### **5.2 Enfoque de la Investigación**

La investigación posee un enfoque cualitativo porque busca entender los fenómenos explorándolos en un entorno natural y en cuanto a su contexto. De igual forma, se considera este tipo de enfoque cuando el tema de investigación ha sido poco explorado o no se ha efectuado análisis profundos al tema concreto; pero, aunque este tipo de enfoque es inductivo, se debe conocer a profundidad el tema que se está abordando, por lo cual, debe abarcar tanto el propósito como los objetivos de la investigación (Hernández y otros, 2014)

### **5.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para lograr los objetivos de la presente investigación se realizan las siguientes actividades.

#### **5.3.1 Objetivo No. 1**

Diferenciar los tipos de afectaciones que pueden tener las estructuras de concretos localizadas en litorales, para lo cual se realizan los procedimientos que se señalan a continuación.

- Categorizar la revisión bibliográfica referente a las estructuras de concreto localizadas en litorales como entorno temporal y espacial de análisis.
- Realizar una configuración gráfica de una sucesión de fotografías que muestren la situación por afectaciones de dichas estructuras en momentos específicos. Esta configuración gráfica, posibilitará efectuar una estimación de determinados parámetros que hagan más sencilla la valoración real de la problemática.
- Efectuar un relato histórico de la forma en que se vienen dando este tipo de afectaciones a las estructuras de concreto, específicamente a las ubicadas en los litorales, por lo tanto, se utilizan diversas fuentes bibliográficas, informes y documentos, planos históricos, al igual que diversas estadísticas. Esta investigación estará enfocada a buscar hitos fundamentales y que permitan describir el proceso que se genera en dichas afectaciones para especificar las clases de daños que pueden presentar estas estructuras. Este relato no busca ser exhaustivo sino destacar los aspectos fundamentales de esta problemática.

### **5.3.2 Objetivo No. 2**

Identificar las condiciones que inciden en la vulnerabilidad de las estructuras de concreto ubicadas en litorales. Para el desarrollo de este objetivo se realizará una revisión de literatura en bases de datos científicas y académicas, para seleccionar documentos publicados a nivel nacional e internacional en los últimos cinco años en relación con los factores a tener en cuenta por su generación de vulnerabilidad en las estructuras de concreto ubicadas en litorales.

### **5.3.3 Objetivo No. 3**

Establecer las medidas que se pueden tomar para prevenir el deterioro de estructuras de concreto en litorales y habiendo identificado las condiciones que inciden en la vulnerabilidad de las estructuras de concreto de litorales, se identificarán las diferentes técnicas recomendadas, las cuales dependen de la situación específica de cada estructura,

generada por diversos factores como revestimientos, la relación agua cemento, recubrimientos del acero y la utilización de los activos para controlar el asentamiento de los concreto a utilizar en las zonas marinas y demás técnicas que hayan sido publicadas y documentadas por la literatura técnica y científica.

Para el desarrollo de este objetivo también se aplicará la metodología de revisión de literatura en bases de datos científicas y académicas, lo que permitirá seleccionar documentos publicados a nivel nacional e internacional en los últimos cinco años, tanto en español como en inglés, las técnicas recomendadas para prevenir el deterioro de estructuras de concreto en litorales.

## **6 Afectaciones que sufren las estructuras en las zonas costera**

En este capítulo se presentan los resultados del trabajo frente a cada uno de los objetivos específicos establecidos.

### **6.1 Tipos de afectaciones de las estructuras de concreto localizadas en litorales**

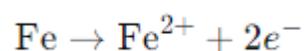
Las estructuras de concreto ubicadas en litorales, es decir, en áreas cercanas a la costa o en zonas costeras, están expuestas a condiciones ambientales específicas que pueden afectar su integridad a lo largo del tiempo.

#### **6.1.1 Corrosión del acero de refuerzo.**

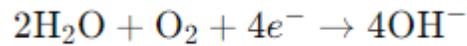
La exposición constante al ambiente marino puede acelerar la corrosión del acero de refuerzo presente en las estructuras de concreto. La salinidad del aire y del agua contribuye a la corrosión, lo que debilita la estructura con el tiempo. La corrosión del acero de refuerzo en las estructuras de concreto es un proceso electroquímico que involucra la degradación del acero debido a reacciones químicas con su entorno (Anitha et al., 2019).

A continuación, se describen las etapas principales del proceso de corrosión del acero de refuerzo. El inicio de la corrosión se presenta con la formación de fisuras y grietas con el tiempo debido a diversos factores, como cargas cíclicas, contracción y expansión térmica, o la presencia de defectos en el concreto. El agua y sustancias agresivas, como cloruros presentes en ambientes marinos, pueden penetrar a través de las fisuras y entrar en contacto con el acero de refuerzo.

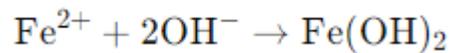
Cuando el agua y los iones agresivos entran en contacto con el acero de refuerzo, se inicia una reacción electroquímica. El acero se ioniza, liberando electrones (Song et al., 2019).



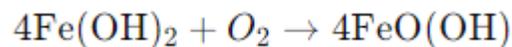
Los electrones liberados en la ionización del acero reaccionan con el oxígeno y el agua para formar iones hidroxilo.



Sigue la propagación de la corrosión, que se inicia con una reacción en cadena. Los iones ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y los iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) formados en la etapa de iniciación reaccionan para formar hidróxido ferroso, que es soluble en agua.



La propagación continua con la formación del óxido de hierro. El hidróxido ferroso reacciona adicionalmente con oxígeno y agua para formar óxido de hierro (óxido férrico), que es insoluble y se deposita en la superficie del acero, creando una capa de corrosión conocida como "calamina".



Lo que sigue es la expansión y fisuración; el óxido de hierro tiene un volumen mayor que el acero original, lo que resulta en la expansión de la capa de corrosión (Song et al., 2019). A su vez, la expansión puede causar fisuras adicionales en el concreto circundante, debilitando la estructura.

El proceso de corrosión puede continuar y acelerarse si no se toman medidas para detenerlo. La corrosión del acero de refuerzo debilita la estructura, comprometiendo su integridad y resistencia mecánica.

### **6.1.2 Erosión.**

Las estructuras costeras pueden enfrentar la erosión causada por el impacto directo de las olas, así como por la acción del viento y las corrientes. Esto puede resultar en la pérdida gradual de material, afectando la estabilidad de la estructura (Mohamed et al., 2021). A continuación, se describen cómo se presenta este proceso.

Las olas, especialmente en áreas costeras expuestas, pueden golpear repetidamente las superficies de las estructuras de concreto. Este impacto constante puede resultar en un desgaste mecánico gradual de la superficie del concreto. Esas mismas olas transportan partículas, como arena y grava, que pueden actuar como agentes abrasivos cuando son arrastradas por las olas y golpean la superficie de la estructura.

A su vez, en áreas con viento fuerte, las partículas suspendidas en el aire, como arena y polvo, pueden impactar contra las superficies de las estructuras de concreto. Este proceso puede causar erosión gradual a lo largo del tiempo. Adicionalmente, las corrientes marinas pueden transportar sedimentos y partículas que, al ser arrastradas contra las estructuras de concreto, pueden causar erosión. Este fenómeno es más pronunciado en áreas con fuertes corrientes o cambios en la dirección del flujo de agua.

La erosión constante debida al impacto de las olas, el viento y las corrientes puede llevar al desprendimiento de partículas más pequeñas y, en algunos casos, fragmentos más grandes de la superficie de concreto. Esa pérdida gradual de material puede resultar en una disminución de la sección transversal de la estructura, lo que afecta su capacidad para soportar cargas y su estabilidad estructural.

### **6.1.3 Ataque químico.**

La exposición al agua salada y otros elementos químicos presentes en el ambiente marino puede provocar ataques químicos en el concreto, debilitando su resistencia y durabilidad (Touil y otros, 2022).

Estos ataques pueden involucrar varios procesos corrosivos. El primero es la corrosión por cloruros; el agua del mar contiene cloruros, y cuando esta agua entra en contacto con el concreto, los cloruros pueden penetrar en la matriz del concreto. Los iones de cloruro pueden desplazar los iones hidroxilo en la matriz del concreto, debilitando la capa pasivadora que protege al acero de refuerzo contra la corrosión.

También puede haber ataque sulfático. En áreas donde hay sulfatos presentes en el agua del mar o en el suelo, puede ocurrir un ataque sulfático. Los sulfatos pueden reaccionar con los compuestos hidratados del cemento en el concreto, formando productos expansivos

que pueden dañar la estructura. Así mismo se presentan reacciones Álcali-Sílice (RAS): Algunos minerales presentes en ciertos agregados utilizados en la fabricación del concreto pueden reaccionar con los álcalis presentes en el cemento; esta reacción puede dar lugar a la formación de geles expansivos, lo que resulta en la expansión y fisuración del concreto. A lo anterior se agrega que la exposición prolongada al agua salada puede provocar la disolución de componentes solubles en la matriz del concreto, lo que debilita la estructura (Touil y otros, 2022).

Otra forma de ataque químico es la de ácidos orgánicos. En entornos marinos pueden estar presentes ácidos orgánicos derivados de materiales biológicos en descomposición; estos ácidos pueden contribuir a la corrosión del concreto y del acero de refuerzo.

#### **6.1.4 Ciclos de congelación y descongelación**

En algunas zonas costeras, especialmente aquellas donde se experimentan cambios estacionales significativos, el agua que penetra en las fisuras del concreto puede congelarse y expandirse, causando daño adicional a la estructura (Lu et al., 2022). Este tipo de afectación no se presenta en Colombia.

Este fenómeno se debe principalmente a la presencia de agua en el concreto, que puede penetrar en sus poros y fisuras. El concreto es poroso y puede permitir la entrada de agua, especialmente en zonas costeras donde las estructuras están expuestas a la lluvia, salpicaduras de agua salada y otros elementos húmedos; el concreto puede absorber agua por capilaridad o por la presión hidrostática, dependiendo de la exposición y las condiciones climáticas. Cuando el agua presente en los poros del concreto se congela, experimenta una expansión significativa; este aumento de volumen puede generar presiones internas considerables dentro de los poros y fisuras del concreto. Las presiones generadas durante la congelación pueden ser suficientemente altas como para causar microfisuras o fisuras en el concreto. Este proceso se conoce como "acción mecánica" de la congelación.

Durante la fase de descongelación, el agua que se había convertido en hielo vuelve a su estado líquido; sin embargo, las fisuras generadas durante la congelación pueden persistir en el concreto. Durante la descongelación, el agua líquida que ocupa menos volumen que el

hielo puede generar presiones adicionales en las fisuras existentes. Con ciclos repetidos de congelación y descongelación, las fisuras pueden propagarse y aumentar en tamaño con el tiempo. A medida que el proceso se repite, se produce un deterioro progresivo del concreto, debilitando su estructura y afectando su resistencia mecánica.

### **6.1.5 Impacto de objetos flotantes.**

Las estructuras en litorales, como muelles y embarcaderos, pueden estar expuestas al impacto de objetos flotantes, como embarcaciones o escombros marinos. Esto puede causar daños físicos directos a la estructura. Estos impactos pueden tener consecuencias significativas para la integridad estructural y la funcionalidad de dichas infraestructuras (Raju & Arockiasamy, 2022).

El choque directo de una embarcación contra un muelle o embarcadero puede causar daños estructurales, incluyendo deformaciones, fisuras o fracturas en los elementos de la infraestructura. Los pilotes y soportes de las estructuras en litorales, al ser impactados repetidamente por objetos flotantes, pueden experimentar un deterioro progresivo, comprometiendo su capacidad de carga y estabilidad. Los impactos pueden provocar el desplazamiento lateral de secciones de la estructura, afectando su alineación original y la conexión entre elementos.

Así mismo, la fricción continua causada por el impacto de objetos flotantes puede generar abrasión en la superficie de la infraestructura, resultando en desgaste y pérdida gradual de material. Las estructuras en litorales suelen contar con equipos, sistemas de amarre y otros accesorios y el impacto de objetos flotantes puede dañar estos componentes, afectando la funcionalidad general de la estructura. Ese impacto de objetos flotantes puede representar un riesgo para la seguridad de las personas que se encuentren en la infraestructura, ya sea trabajadores, usuarios o visitantes.

### **6.1.6 Subsistencia del suelo.**

En algunas áreas costeras, la subsidencia del suelo debido a factores geológicos o extracción de agua subterránea puede afectar la estabilidad de las estructuras de concreto. La subsidencia del suelo es un fenómeno en el cual el nivel del suelo desciende, disminuyendo

la elevación de la superficie terrestre (Esteban et al., 2020). Este proceso puede ocurrir en áreas costeras y puede ser causado por varios factores, siendo dos de los más comunes los factores geológicos y la extracción de agua subterránea. Aquí se explica cada uno de estos aspectos.

En cuanto a los factores geológicos, en algunas áreas, los sedimentos y suelos costeros pueden experimentar compactación debido a procesos geológicos naturales. La presión de los sedimentos y la actividad geotécnica pueden causar que las partículas del suelo se compriman, lo que resulta en la subsidencia del terreno. La consolidación del suelo, que implica la eliminación del agua atrapada entre los granos del suelo, puede ser un factor geológico que contribuye a la subsidencia; a medida que el agua es expulsada, los sedimentos se comprimen y el suelo puede hundirse.

Por otro lado, la extracción excesiva de agua subterránea de los acuíferos también puede provocar un descenso en el nivel freático. Cuando el agua es retirada del subsuelo, los espacios porosos que antes estaban llenos de agua pueden colapsar, resultando en la compresión del suelo y, por ende, en la subsidencia. Esa extracción de agua subterránea puede cambiar las propiedades físicas de los sedimentos, especialmente si contienen arcillas expansivas. La pérdida de agua puede hacer que estas arcillas se contraigan, llevando a la compactación y subsidencia del suelo. La subsidencia del suelo puede tener consecuencias significativas, especialmente en áreas costeras, donde la elevación del terreno es crucial para la protección contra inundaciones y eventos climáticos extremos. Entre las posibles consecuencias se encuentran, en primer lugar, las inundaciones más frecuentes; la disminución del nivel del suelo puede aumentar la vulnerabilidad a inundaciones, ya que las áreas que anteriormente estaban por encima del nivel del agua ahora pueden estar más expuestas a las mareas altas y las tormentas.

Así mismo, la subsidencia puede causar daños a las infraestructuras costeras, como carreteras, edificios y sistemas de drenaje, afectando la estabilidad y funcionalidad de estas estructuras. Es por eso que, en zonas costeras, la subsidencia del suelo puede aumentar el riesgo de intrusión salina, donde el agua salada del océano puede penetrar más fácilmente en los acuíferos de agua dulce.

## **6.2 Condiciones que inciden en la vulnerabilidad de las estructuras de concreto ubicadas en litorales**

La vulnerabilidad de las estructuras de concreto ubicadas en litorales está influenciada por una combinación de factores ambientales, geológicos y de diseño (Sangiorgio et al., 2019). Algunas de las condiciones que inciden en la vulnerabilidad de estas estructuras incluyen:

- **Exposición al ambiente marino:** La exposición constante al ambiente marino, que incluye la presencia de agua salada y la acción de las olas, puede acelerar la corrosión del acero de refuerzo en las estructuras de concreto. Así mismo, la presencia de cloruros y otros agentes químicos en el agua del mar puede provocar ataques químicos en el concreto, debilitando su resistencia y durabilidad.
- **Acción de las olas y corrientes:** Las olas y las corrientes pueden causar erosión y desgaste en la superficie del concreto, especialmente en estructuras costeras expuestas, como muelles y rompeolas. Así mismo, el impacto de embarcaciones u otros objetos flotantes puede dañar la estructura y comprometer su integridad.
- **Subsidencia del suelo:** En algunas áreas costeras, la subsidencia del suelo debido a factores geológicos o a la extracción excesiva de agua subterránea puede afectar la estabilidad de las estructuras de concreto.
- **Ciclos de congelación y descongelación:** En entornos donde se experimentan cambios estacionales significativos, los ciclos de congelación y descongelación pueden provocar la expansión y contracción del agua dentro del concreto, resultando en fisuras y debilitamiento estructural.
- **Exposición a eventos sísmicos:** Las estructuras en litorales pueden estar expuestas a eventos sísmicos, lo que aumenta el riesgo de daños estructurales. El diseño sísmico adecuado es esencial para mitigar este riesgo.

- **Intrusión salina:** La intrusión de agua salada en acuíferos subterráneos puede afectar la calidad del concreto y provocar la corrosión del acero de refuerzo.
- **Condiciones climáticas extremas:** Las estructuras costeras están expuestas a condiciones climáticas extremas, como tormentas y huracanes, que pueden generar vientos fuertes, mareas altas y fuertes oleajes, aumentando el riesgo de daños estructurales.
- **Calidad de los materiales y diseño inadecuado:** Un diseño estructural inadecuado, así como la selección de materiales de baja calidad, pueden aumentar la vulnerabilidad de las estructuras de concreto. Para reducir la vulnerabilidad de las estructuras de concreto en litorales, es esencial realizar un diseño estructural adecuado, seleccionar materiales resistentes al ambiente marino, implementar medidas de protección, realizar un mantenimiento regular y considerar las condiciones específicas del entorno en el que se encuentran.

### **6.3 Medidas para prevenir el deterioro de las estructuras de concreto en litorales**

Para contrarrestar las diferentes afectaciones descritas, las estructuras costeras a menudo requieren técnicas de diseño y construcción específicas, así como mantenimiento regular y medidas de protección, como el uso de recubrimientos protectores, concretos especiales resistentes a la corrosión, sistemas de drenaje eficientes, y monitoreo continuo de la integridad estructural.

#### **6.3.1 Para prevenir la corrosión.**

Se aplican técnicas como la protección con recubrimientos, el uso de concreto resistente a la corrosión, y la gestión adecuada de la exposición a agentes agresivos. Además, el monitoreo regular y el mantenimiento son esenciales para garantizar la durabilidad de las estructuras de concreto (James y otros, 2019). Aquí se presentan algunas medidas que se pueden implementar para prevenir la corrosión:

- Utilizar concretos resistentes a la corrosión: Incorporar aditivos inhibidores de corrosión en la mezcla de concreto puede ayudar a reducir la velocidad de corrosión del acero de refuerzo.
- Concreto de alta resistencia: Utilizar concretos de alta resistencia que tengan una mayor densidad y una menor porosidad, lo que dificulta la penetración de agentes corrosivos.
- Aplicar recubrimientos protectores en el acero de refuerzo puede proporcionar una barrera física entre el acero y el ambiente corrosivo.
- Sistemas de protección catódica: Implementar sistemas de protección catódica, como ánodos de sacrificio o corriente impresa, para reducir la velocidad de corrosión del acero.
- Seleccionar materiales resistentes a la corrosión: Utilizar acero inoxidable o galvanizado para el refuerzo en lugar de acero convencional, ya que estos materiales tienen una mayor resistencia a la corrosión en ambientes marinos.
- Seleccionar otros materiales de construcción, como fijaciones y conexiones, que sean resistentes a la corrosión en entornos marinos.
- Sistemas de drenaje eficientes: Garantizar que los sistemas de drenaje sean eficientes para evitar la acumulación de agua alrededor de las estructuras y reducir el contacto prolongado del concreto con agua salada.
- Inspecciones periódicas: Realizar inspecciones periódicas para detectar signos tempranos de corrosión, como fisuras, manchas de oxidación o desprendimiento del concreto.
- Reparaciones oportunas: Realizar reparaciones inmediatas en caso de que se detecten áreas afectadas por la corrosión para evitar que el problema se agrave.

- Selladores y recubrimientos impermeables: Aplicar selladores y recubrimientos impermeables en la superficie del concreto puede ayudar a prevenir la penetración de agua y agentes corrosivos.
- Evitar detalles constructivos propensos a la corrosión: En el diseño, evitar la creación de rincones inaccesibles o detalles constructivos que puedan retener agua y facilitar la corrosión.
- Sistemas de monitoreo: Implementar sistemas de monitoreo continuo para evaluar la corrosión del acero de refuerzo y anticiparse a problemas potenciales.

Al combinar estas medidas, se puede desarrollar un enfoque integral para prevenir la corrosión de las estructuras de concreto en litorales y garantizar su durabilidad a lo largo del tiempo. La aplicación de estas estrategias dependerá de las condiciones específicas del entorno y de la naturaleza de la estructura.

### **6.3.2 Para mitigar la erosión.**

Para mitigar la erosión en estructuras de concreto en entornos costeros, se pueden implementar varias estrategias, como (Mohamed et al., 2021):

- Recubrimientos protectores: Aplicación de recubrimientos especiales que proporcionen resistencia adicional contra la abrasión y la erosión.
- Revestimientos de polímeros: Utilizar revestimientos de polímeros o materiales compuestos que sean resistentes a la corrosión y al desgaste para proteger la superficie del concreto.
- Diseño estructural resistente: Incorporación de características estructurales que minimicen el impacto de las olas y el viento, como formas aerodinámicas y superficies resistentes al desgaste.
- Diseño adecuado de taludes: Configurar taludes y pendientes de manera que minimicen la erosión. Pueden emplearse técnicas de revegetación para fortalecer la cobertura del suelo.

- Estructuras de protección costera: Implementar estructuras costeras, como espigones o diques, para disminuir la energía de las olas y reducir la erosión en áreas vulnerables.
- Concreto resistente a la erosión: Utilizar mezclas de concreto diseñadas específicamente para resistir la erosión y la abrasión, incorporando agregados más resistentes.
- Piedras resistentes: Utilizar piedras resistentes y duraderas en las áreas expuestas a la acción de las olas para reducir el desgaste.
- Vegetación costera: Promover la revegetación de áreas costeras para estabilizar el suelo y reducir la erosión. Las plantas con sistemas de raíces extensos pueden ayudar a anclar el suelo.
- Mallas o geotextiles: Utilizar mallas o geotextiles para estabilizar el suelo en áreas propensas a la erosión y evitar la pérdida de material.
- Sistemas de drenaje eficientes: Garantizar que los sistemas de drenaje sean efectivos para evitar la acumulación de agua alrededor de las estructuras, lo que puede aumentar la erosión.
- Gestión del flujo de agua: Controlar y dirigir el flujo de agua de manera adecuada para minimizar su impacto erosivo en las áreas vulnerables.
- Mantenimiento regular: Inspecciones periódicas y mantenimiento para identificar y reparar áreas afectadas antes de que se vuelvan críticas.
- Sistemas de defensa costera: Implementación de estructuras adicionales, como espigones o diques, para reducir la energía de las olas y minimizar su impacto en las estructuras costeras.
- Zonificación y regulación: Establecer regulaciones y zonificación adecuadas para limitar el desarrollo en áreas propensas a la erosión y proteger las estructuras existentes.

La combinación de estas medidas puede ayudar a preservar la integridad de las estructuras de concreto en entornos costeros y prolongar su vida útil.

### **6.3.3 Para mitigar los ataques químicos.**

En estructuras de concreto expuestas al ambiente marino, se implementan diversas estrategias (James y otros, 2019), como:

- Uso de concretos resistentes a la corrosión: Utilización de concretos con adiciones de materiales que mejoren la resistencia a la corrosión, como adiciones de sílice, inhibidores de corrosión, o cementos especiales.
- Recubrimientos protectores: Aplicación de recubrimientos que actúen como barreras físicas para proteger el concreto y el acero de refuerzo del contacto directo con el agua y los agentes agresivos.
- Diseño adecuado de las mezclas: Selección cuidadosa de los materiales de la mezcla de concreto para minimizar la reactividad álcali-sílice y garantizar la durabilidad.
- Sistemas de protección catódica: Implementar sistemas de protección catódica, como ánodos de sacrificio o corriente impresa, para reducir la velocidad de corrosión del acero de refuerzo.
- Barreras contra la intrusión salina: Implementar barreras físicas o químicas para prevenir la intrusión de agua salada en el concreto y los acuíferos subterráneos.
- Monitoreo y mantenimiento regular: Inspecciones periódicas para detectar signos de deterioro y aplicar medidas correctivas a tiempo.

La elección de las medidas específicas dependerá de las condiciones ambientales locales y de los materiales utilizados en la construcción de las estructuras costeras.

### **6.3.4 Para mitigar los efectos de los ciclos de congelación y descongelación.**

En estructuras de concreto en litorales, se pueden implementar diversas estrategias (Peng et al., 2022), como:

- Uso de concretos resistentes a la congelación y la corrosión: La adición de aditivos que mejoren la resistencia del concreto a la congelación y reduzcan su permeabilidad.
- Drenaje adecuado: La instalación de sistemas de drenaje eficientes para minimizar la acumulación de agua en la estructura.
- Impermeabilización: La aplicación de recubrimientos impermeables o selladores que reduzcan la penetración de agua en el concreto.
- Mantenimiento regular: Inspecciones periódicas para detectar y reparar fisuras antes de que se conviertan en problemas mayores.

Estas medidas son esenciales para preservar la durabilidad y la integridad de las estructuras de concreto expuestas a ciclos de congelación y descongelación en ambientes costeros.

### **6.3.5 Para evitar el impacto de objetos flotantes.**

Para mitigar los efectos de estos impactos en estructuras costeras, se pueden implementar diversas medidas preventivas y de diseño (Adi et al., 2020), tales como:

- Sistemas de defensa costera: Instalación de sistemas de defensa, como defensas marinas, que absorban y disipen la energía de impacto para proteger la estructura principal.
- Diseño resistente: Consideración de factores de diseño que minimicen el impacto de objetos flotantes, como la instalación de defensas adecuadas y la elección de materiales resistentes.
- Sistemas de alerta y monitoreo: Implementación de sistemas que alerten sobre la proximidad de objetos flotantes peligrosos y que permitan la evacuación o el cierre de la infraestructura cuando sea necesario.
- Mantenimiento regular: Inspecciones periódicas para evaluar el estado de la infraestructura y realizar reparaciones preventivas en caso de daños detectados.

Estas medidas contribuyen a garantizar la seguridad y la durabilidad de las estructuras en litorales frente a los impactos de objetos flotantes.

### **6.3.6 Para abordar la subsidencia del suelo.**

Se deben implementar medidas de gestión sostenible del agua subterránea, regulación de la extracción de agua y prácticas de desarrollo que minimicen la compactación del suelo. Además, es crucial monitorear y comprender los procesos geológicos para gestionar de manera efectiva las áreas propensas a la subsidencia (Mohamed et al., 2021).

- **Regulación y monitoreo:** Implementar regulaciones y sistemas de monitoreo para controlar la extracción de agua subterránea, especialmente en áreas donde la extracción excesiva puede contribuir a la subsidencia.
- **Uso sostenible:** Promover prácticas de uso sostenible del agua subterránea y fomentar alternativas, como la utilización de fuentes de agua alternativas o la recarga artificial de acuíferos.
- **Captación y almacenamiento de agua:** Implementar técnicas de recarga artificial de acuíferos mediante la captación y almacenamiento de agua de lluvia, infiltración controlada y otras prácticas que contribuyan a la recarga del sistema.
- **Proyectos de recarga:** Desarrollar proyectos de recarga de acuíferos que introduzcan agua en el subsuelo para compensar la extracción y mantener niveles adecuados.
- **Rehabilitación de la infraestructura:** Realizar mejoras en la infraestructura afectada por la subsidencia, como levantamiento y reparación de estructuras dañadas.
- **Estudios geotécnicos:** Llevar a cabo estudios geotécnicos para comprender la naturaleza y la extensión de la subsidencia y desarrollar estrategias de mitigación específicas.
- **Gestión de la urbanización:** Implementar prácticas de planificación urbana que minimicen la compactación del suelo durante la construcción y el desarrollo urbano.

- Manejo de la vegetación: Promover la preservación y plantación de vegetación, ya que las raíces de las plantas pueden contribuir a la estabilidad del suelo.
- Monitoreo geodésico: Implementar sistemas de monitoreo geodésico para realizar un seguimiento continuo de los cambios en el nivel del suelo y las estructuras afectadas.
- Investigación de causas: Realizar investigaciones detalladas para identificar las causas específicas de la subsidencia y desarrollar estrategias de mitigación adaptadas a esas causas.
- Comunicación con la comunidad: Informar y educar a la comunidad sobre las prácticas sostenibles de gestión del agua y las implicaciones de la extracción excesiva de agua subterránea.
- Participación ciudadana: Fomentar la participación ciudadana en iniciativas de conservación y manejo sostenible del agua.
- Desarrollo de políticas: Desarrollar políticas y regulaciones efectivas para la gestión sostenible del agua, la conservación y la prevención de la extracción excesiva.
- Trabajo conjunto: Fomentar la colaboración entre ingenieros, geólogos, autoridades locales y otros profesionales para abordar la subsidencia de manera integral.

## 7 Conclusiones, Recomendaciones e Investigaciones Futuras

En el sexto capítulo del presente trabajo se presentaron los resultados de esta investigación, siendo el primero de ellos la diferenciación de seis tipos de afectaciones que pueden tener las estructuras de concreto localizadas en litorales, como son la corrosión del acero de refuerzo, la erosión, los ataques químicos, los ciclos de congelación y descongelación, el impacto de objetos flotantes y la subsidencia del suelo.

Así mismo se identificaron las condiciones específicas que inciden en la vulnerabilidad de las estructuras de concreto ubicadas en litorales frente a cada uno de esos tipos de afectaciones. Igualmente se establecieron todas las medidas que, de acuerdo con la investigación realizada, se pueden tomar para prevenir el deterioro de las estructuras de concreto en litorales.

Dado que no se trata en este capítulo de conclusiones de evitar la repetición de todo lo que ya se dijo, a manera de conclusión general se puede afirmar que existen diversas medidas que pueden requerirse al momento de diseñar y construir estructuras de concreto para los litorales, muchas de las cuales no se presentan en otras regiones alejadas de las costas. Esa condición hace que los profesionales de la ingeniería que se dedican al diseño y a la construcción de estas estructuras deban realizar unas listas de chequeo que les permitan verificar que las obras cumplen con todas las exigencias propias de esas condiciones particulares. Como se registró en este trabajo, son muy diversas las medidas que se pueden y se recomienda aplicar en estas estructuras, y no todas dependen de los ingenieros civiles, sino que involucran también a los líderes sociales, a los geólogos, a los ingenieros químicos, a los diseñadores de materiales, a los fabricantes de revestimientos, entre otros.

En cuanto a las recomendaciones que se derivan de este trabajo, tal vez la primera es que las estructuras de concreto que ya existen en litorales sean evaluadas frente a estas medidas que se pueden tomar para prevenir su deterioro. Esa revisión debe conducir a que se adopten medidas correctivas para evitar que las mismas continúen su proceso de deterioro y otras medidas preventivas para evitar que se presenten algunos tipos de vulnerabilidades que aún no se hayan manifestado.

Frente a las investigaciones futuras, se recomienda realizar investigaciones que permitan dar respuesta a los siguientes interrogantes: ¿qué papel pueden cumplir las asociaciones de profesionales frente a los vulnerabilidades y afectaciones propias de las estructuras de concreto en litorales?, ¿qué efectos tienen las medidas preventivas que demandan las estructuras de concreto en litorales en los costos de los proyectos de vivienda y de infraestructura?, ¿cuál debe ser el rol de las firmas de consultoría e interventoría de proyectos respecto de las vulnerabilidades de las estructuras de concreto en litorales?

## Referencias

- Adi, H., Wahyudi, S., Sudarmono, C., & Islam, M. (2020). Comparison analysis of expanded polystyrene system (eps) and polyvinyl chloride (pvc) pipe as platform material of floating buildings in the coastal areas of Semarang. *Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1444, No. 1)*, 120-134.
- Agencia UNAL. (2019, mayo 17). *Sales, enemigas de la resistencia de estructuras de concreto*. Retrieved from Agencia de Noticias UNAL: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/sales-enemigas-de-la-resistencia-de-estructuras-de-concreto>
- Allauca, L. (2006). *Desempeño sísmico de un edificio aporticado de cinco pisos diseñado con las normas peruanas de edificaciones*. Lima: Univerisdad Católica del Perú.
- Almazán, J., Palomino, M., & García, J. (2000). *Introducción a la dinámica de las formas costeras*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Almutairi, A., Tayeh, B., Adesina, A., Isleem, H., & Zeyad, A. (2021). Potential applications of geopolymers in construction: A review. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00733.
- Alonso, J. (2008). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones*. Caracas: Sidetur.
- Alzate, A. (2019). *Evaluación de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables del grupo III sector educación ubicados en el municipio de Dosquebradas, Risaralda*. Pereira: Universidad Libre Seccional Pereira.
- American Concrete Institute. (2001). *ACI 224 R-01 Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón*. Michigan: ACI.
- Anitha, R., Chitra, S., Hemapriya, V., Chung, I., Kim, S., & Prabakaran, M. (2019). Implications of eco-addition inhibitor to mitigate corrosion in reinforced steel embedded in concrete. *Construction and Building Materials*, 213, 246-256.

- Bandala, E., Mendoza, D., Jimenez, J., & Borges, P. (2018). Evaluación de problemas patológicos asociados a carbonatación y sulfatos en una torre de concreto con más de 50 años de servicio. *Revista ALCONPAT*, 8(1), 94-107.
- Barrueto, J. (2019). *Análisis sísmico comparativo entre los sistemas de concreto armado y albañilería confinada para la construcción de un edificio de viviendas multifamiliares del distrito de Surquillo*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Camacol. (2023, mayo 26). *Colombia, alineado con las tendencias del concreto*. Retrieved 2023, from <https://camacol.co/actualidad/publicaciones/revista-urbana/96/actualidad/colombia-alineado-con-las-tendencias-del>
- Cerpa, A. (2016). *Evaluación de daños y costo de reparación, en estructuras marinas afectadas por la acción de los cloruros del medio (Caso de estudio: Muelle terminal Chevron Petroleum Company)*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Choqueza, W., & Molluni, J. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones públicas de concreto armado en la zona urbana del Distrito de Ocuvi, Provincia de Lampa, Región Puno -2017*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Cortes, B., & Perilla, K. (2017). *Identificación de patologías estructurales en edificaciones indispensables del Municipio de Santa Rosa de Cabal (sector educativo)*. Pereira: Universidad Libre Seccional Pereira.
- Criollo, J., & Santisteban, A. (2018). *Vulnerabilidad sísmica aplicando índices de vulnerabilidad (Benedetti Petrini) en la ciudad de San José, Distrito San José, Provincia Lambayeque, Departamento Lambayeque*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- de Sánchez, A., & Hernández, C. (2022). Estudio del efecto ambiental industrial y marino sobre concreto reforzado expuesto en dos ciudades del pacífico panameño. *Revista de I+ D Tecnológico*, 17(2), 12-25.

- Del Rosal, J. (2017). Durabilidad y patología del concreto. *Revista CYT.com*, 14-15.
- Dolce, M., Kappos, A., Zuccaro, G., & Coburn, A. (1994). *Report of the EAEE working group 3: vulnerabilit and risk analysis, Technical Report 10th european conferen.* Viena: Technical Report 10th european conference on Earthquake Engineering.
- Esteban, M., Takagi, H., Jamero, L., Chadwick, C., Avelino, J., Mikami, T., & Shibayama, T. (2020). Adaptation to sea level rise: Learning from present examples of land subsidence. *Ocean & Coastal Management*, 189, 104-125.
- Flores, D. (2019). *Los aditivos para el concreto.* Obtenido de yura.com.pe: <https://www.yura.com.pe/blog/los-aditivos-para-el-concreto/>
- Fontana, M. (1986). *Corrosion Engineering 3a ed.* New York: Mc Graw Hill.
- Freepiks. (2023). *Construcción de una casa de concreto reforzado con paneles de varios pisos rampa segura.* Obtenido de [https://www.freepik.es/fotos-premium/construccion-casa-concreto-reforzado-paneles-varios-pisos-rampa-segura-entrada-edificio-seguridad-sitio-construccion\\_25308292.htm](https://www.freepik.es/fotos-premium/construccion-casa-concreto-reforzado-paneles-varios-pisos-rampa-segura-entrada-edificio-seguridad-sitio-construccion_25308292.htm)
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación 6a. ed.* México: Mc Graw Hill.
- James, A., Bazarchi, E., Chiniforush, A., Aghdam, P., Hosseini, M., Akbarnezhad, A., & Ghodoosi, F. (2019). Rebar corrosion detection, protection, and rehabilitation of reinforced concrete structures in coastal environments: A review. *Construction and Building Materials*, 224, 1026-1039.
- Liquete, M. (2022). *Los cinco sentidos de la arquitectura participativa: de la solidaridad a la utilidad.* Universidad Politécnica de Madrid.
- Lu, J., Liu, J., Yang, H., Wan, X., Gao, J., Zhang, J., & Li, P. (2022). Experimental investigation on the mechanical properties and pore structure deterioration of fiber-reinforced concrete in different freeze-thaw media. *Construction and Building Materials*, 350, 128-147.

- Maldonado, A., & Zamarreño, I. (1983). Modelos sedimentarios en las plataformas continentales del mediterráneo español: factores de control, facies y procesos que rigen su desarrollo. En J. Castellvi, *Estudio oceanográfico de la plataforma continental* (págs. 15-52). Cádiz: Seminario científico.
- Martínez, S. (2013). *Estudio morfodinámico de una playa lineal. Aplicación al caso de Gandia*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Maurello, J., Mondragón, K., & Romero, J. (2020). *Principales tipos de contracción, efectos sobre el concreto y sus métodos de mitigación*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- McHarg, I. (2000). *Proyectar con la naturaleza ed. orig. 1969*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Medina, J., Tintoré, J., & Duarte, C. (2001). Las praderas de Posidonia oceánica y la regeneración de playas. *Revista de obras públicas*, 31-43.
- Mera, J., Albear, J., & Valdés, A. (2019). Primeras experiencias en el desempeño por durabilidad de un hormigón antes de usarlo en el perfil costero de Manabí, Ecuador. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 48(1), 27-40.
- Mohamed, A., Jamal, M., Hassan, M., Mohd, S., Mohd, S., & Abd, M. (2021). Coastal structures as beach erosion control and sea level rise adaptation in malaysia: A review. *Water*, 13(13), 17-41.
- Ottazzi, G. (2015). *Apuntes del curso concreto armado I*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Paredes, J., Prieto, J., & Santos, E. (s.f.). *Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: Vigas y columnas*. Obtenido de dspace.espol.edu.ec: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24384/1/Paper%20Paredes-Prieto.pdf>

- Peng, R., Qiu, W., & Teng, F. (2022). Investigation on seawater freeze-thaw damage deterioration of marine concrete structures in cold regions from multi-scale. *Ocean Engineering*, 248, 105-128.
- Pereira, M. (31 de mayo de 2018). *Cáscaras de hormigón: principios de diseño y ejemplos construidos*. Obtenido de <https://www.archdaily.cl/cl/895405/cascaras-de-hormigon-principios-de-diseno-y-ejemplos-construidos>
- Pérez, J. (2001). *Seguimiento por la técnica de impedancia electroquímica de la protección catódica del acero de refuerzo en concreto modificado por un agente humectante*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- PF. (2020, enero 6). *La cruzada contra la corrosión en México*. Retrieved from Products Finishing: <https://www.pf-mex.com/articulos/la-cruzada-contra-la-corrosion-en-mexico>
- Raju, R., & Arockiasamy, M. (2022). Coastal protection using integration of mangroves with floating barges: An innovative concept. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5), 6-12.
- Ramírez, A. (2017). *Procedimiento constructivo utilizando la tecnología de geotextiles para protección costera en Colán-Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- Rodríguez, R. (2015). *La construcción del espacio litoral. El caso de la costa de Cartagena*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Rosales, V. (1999). *Caracterización del oleaje aplicada a Tuxpan*. Veracruz: Instituto Politécnico Nacional.
- Safina, S. (2002). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Sánchez, D. (2002). *Durabilidad y patología del concreto*. Bogotá: Asocreto.

- Sangiorgio, V., Uva, G., Fatiguso, F., & Adam, J. M. (2019). A new index to evaluate exposure and potential damage to RC building structures in coastal areas. *Engineering Failure Analysis, 100*, 439-455.
- Segura, J. (2011). *Estudios de Concreto I*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Siddika, A., Al Mamun, M., Ferdous, W., & Alyousef, R. (2020). Performances, challenges and opportunities in strengthening reinforced concrete structures by using FRPs—A state-of-the-art review. *Engineering Failure Analysis, 111*, 44-80.
- Song, Y., Wightman, E., Tian, Y., Jack, K., Li, X., Zhong, H., & Jiang, G. (2019). Corrosion of reinforcing steel in concrete sewers. *Science of the Total Environment, 649*, 739-748.
- Terreros, L., & Carvajal, I. (2016). *Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Torres, A., Pérez, J., Ramírez, A., & Martínez, M. (2006). *Estudio de la corrosión en barras de acero inoxidable en concreto contaminado por cloruros cuando se le aplican esfuerzos residuales*. Obtenido de imt.mx: <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt287.pdf>
- Touil, B., Ghomari, F., Khelidj, A., Bonnet, S., & Amiri, O. (2022). Durability assessment of the oldest concrete structure in the Mediterranean coastline: The Ghazaouet harbour. *Marine Structures, 81*, 103-121.
- Villalba, A. (2021). *Intervención de estructuras de concreto reforzado en la ciudad de Cartagena de acuerdo con la norma ACI 562-16*. Cartagena: Universidad de Cartagena.