

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**EVALUACIÓN E INFLUENCIA EN LA DURABILIDAD DE LAS
PATOLOGÍAS DEL CONCRETO DE ESTRUCTURAS CERCANAS
A AMBIENTES MARINOS**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO
DE BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

OLENKA PATRICIA CABRERA CASTILLO

ASESOR

HÉCTOR AUGUSTO GAMARRA UCEDA

<https://orcid.org/0000-0002-3653-1394>

Chiclayo, 2019

ÍNDICE

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA:	10
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	10
2.1.1. DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO EN VIVIENDAS DE ZONAS COSTERAS POR ACCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN LA CONURBACIÓN BARCELONA, LECHERÍA, PUERTO LA CRUZ Y GUANTA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI.	10
2.1.2. VALORACIÓN TÉCNICA DEL DETERIORO DE LAS EDIFICACIONES EN LA ZONA COSTERA DE SANTA FE.	11
2.1.3. INFLUENCIA DE LAS PATOLOGÍAS EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO DE EDIFICACIONES EN ZONAS CERCANAS AL MAR EN LA CIUDAD DE PAITA – PIURA 2015.	12
2.1.4. EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE EDIFICACIONES DE HASTA 3 NIVELES EXPUESTAS A AMBIENTE MARINO DE LA CIUDAD DE PIMENTEL, CHICLAYO.	12
2.1.5. PATOLOGÍAS, INSPECCIÓN Y PROPUESTAS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MUELLES PORTUARIOS - CASO REGIÓN ANCASH PERÚ.	13
2.2 BASES TEÓRICO-CIENTÍFICAS	14
2.2.1. PATOLOGÍA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO	14
2.2.1.1. CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS EN CONCRETO	17
2.2.2. DETERIORO DE ESTRUCTURAS	17
2.2.2.1. ATAQUE DE LOS SULFATOS	17
2.2.2.2. ATAQUE CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO	18
2.2.2.3. FISURACIÓN	20
2.2.2.4. INTEMPERISMO	20
2.2.2.5. EFLORESCENCIAS	21
2.2.2.5. DESPRENDIMIENTOS	21
2.2.3. INFLUENCIA DEL AMBIENTE MARINO	21
2.2.3.1. ZONA DE AMBIENTE MARINO	21
2.2.3.2. REFUERZOS DAÑADOS A CAUSA DE AMBIENTE MARINO	22
2.2.3.3. DAÑOS PROVOCADOS EN ESTRUCTURAS SOMETIDAS A LA ACCION DE ATMÓSFERA MARINA	22

2.2.4. MANUAL DE EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS	23
2.2.4.1. FASES DE EVALUACION	25
2.2.4.1.1. FASES DE INSPECCIÓN	26
2.2.4.1.2. INSPECCIÓN PRELIMINAR	26
2.2.4.1.3. TRABAJO EN OFICINA	30
2.2.4.1.4. AGRUPACIÓN EN LOTES	31
2.2.4.1.5. ENSAYOS IN SITU	31
2.2.4.2. EVALUACION DE LA ESTRUCTURA	33
2.2.4.2.1. DIAGNOSIS DE LA ESTRUCTURA	33
2.2.4.2.1.1. EL ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL (IDE)	33
2.2.4.2.1.2. EL ÍNDICE DE CORROSIÓN (IC)	34
2.2.4.2.1.3. EL ÍNDICE ESTRUCTURAL (IE)	36
2.2.4.2.1.4. CONSECUENCIAS DEL FALLO	40
2.2.4.2.1.5. POSIBLES REDISTRIBUCIONES	40
2.2.4.2.1.6. EL VALOR DEL ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL, IDE	40
2.2.4.2.1.7. MARGEN DE SEGURIDAD (MS) (ÍNDICE OPCIONAL)	41
2.2.4.2.2. URGENCIA DE INTERVENCIÓN (PROGNOSIS)	42
2.2.4.2.3. INFORME DE EVALUACIÓN	43
2.2.5. CÁLCULO DE LA DURABILIDAD SEGÚN ANEXO 9 DE LA EHE 08	43
2.2.5.1. CÁLCULOS RELATIVOS AL ESTADO LÍMITE DE DURABILIDAD	44
2.2.5.1.1. METODO GENERAL	44
2.2.5.1.2. MODELOS DE DURABILIDAD PARA LOS PROCESOS DE CORROSIÓN	45
III. MATERIALES Y MÉTODOS	50
3.1. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.	50
3.2. HIPÓTESIS	50
3.3. VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN	51
3.4. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO y MUESTREO	55
3.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	55
3.6. PLAN DE PROCESAMIENTO PARA ANÁLISIS DE DATOS	56
NACIONALES	57

IV. CONCLUSIONES	60
V. RECOMENDACIONES	61
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

Lista de Tablas

Tabla 1 Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las armaduras	28
Tabla 2 Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las armaduras	29
Tabla 3 Indicadores de corrosión	35
Tabla 4 Valores del factor AA	35
Tabla 5 Índice de corrosión y nivel de corrosión	35
Tabla 6 Índice de armado transversal	36
Tabla 7 Índice estructural (vigas)	37
Tabla 8 Índice estructural (vigas) (Versión simplificada)	38
Tabla 9 Índice estructural (vigas) (Versión simplificada)	38
Tabla 10 Índice estructural, IE (soportes)	39
Tabla 11 Índice estructural (soportes) (tabla simplificada)	39
Tabla 12 Índice de estructural (IDE)	40
Tabla 13 Márgenes de seguridad	41
Tabla 14 Valor final del IDE teniendo en cuenta el margen de seguridad	42
Tabla 15 Urgencia de intervención (años)	42
Tabla 16 Coeficiente c_{env}	46
Tabla 17 Coeficiente c_{air}	46
Tabla 18 Parámetros función del tipo de conglomerante	46
Tabla 19 Coeficientes $D(t_0)$ ($\times 10^{-12}$ m ² /s)	48
Tabla 20 Concentración de cloruros en la superficie de hormigón	48
Tabla 21 Velocidad de corrosión V_{corr} según la clase general de exposición	49

Lista de Gráficos

Gráfico 1 Modelo de secuencia de los procesos que sigue la patología del concreto	15
Gráfico 2 Cálculo del Índice de Daño Estructural	25
Gráfico 3 Cálculo del Índice de Corrosión	34

Lista de Figuras

Figura 1 Influencia de la composición del cemento Portland en la expansión de morteros almacenados en agua de mar	18
Figura 2 Representación esquemática de una celda de corrosión electrolítica en el concreto reforzado	19
Figura 3 Representación esquemática de una celda de corrosión electrolítica en el concreto reforzado	24
Figura 4 Índice estructural	36

RESUMEN

Esta investigación no experimental tiene por objetivo evaluar y determinar agentes patológicos que afectan la durabilidad de las estructuras que se encuentran en zonas costeras y se ven afectadas por una condición ambiental severa. En el desarrollo de la investigación será necesario realizar un diagnóstico de las condiciones en las que se encuentra la estructura mediante ensayos in situ o de laboratorio, y empleando la inspección visual. Actualmente no se han realizado investigaciones profundas en el Perú acerca de la durabilidad del concreto que se encuentra sometido a un ambiente marino, lo cual resulta un tema importante a abordar debido a que nuestro país cuenta con un amplio océano pacífico que cuenta con aspectos que deben ser estudiados y relacionados entre sí para encontrar soluciones ante estructuras poco durables. Por ello, mediante un análisis de distintas fuentes bibliográficas sobre temas de patologías y durabilidad del concreto armado se pretende generar un aporte para futuras evaluaciones de estructuras.

Asimismo, se proponen técnicas de mantenimiento que serán evaluadas de acuerdo a la situación técnica y económica de cada entidad, encargada de supervisar la estructura analizada, para su mejor desarrollo y comprensión.

Palabras clave: durabilidad, concreto armado, patologías, evaluación, diagnóstico, inspección visual.

ABSTRACT

This non-experimental research aims to evaluate and determine pathological agents that affect the durability of structures found in coastal areas and are affected by a severe environmental condition. In the development of the research, it will be necessary to make a diagnosis of the conditions in which the structure is found through in situ or laboratory tests, and using visual inspection. Currently, no in-depth research has been carried out in Peru about the durability of concrete that is subjected to a marine environment, which is an important issue to address because our country has a wide Pacific Ocean that has aspects that must be studied and related to each other to find solutions to little durable structures. Therefore, through an analysis of different bibliographic sources on issues of pathologies and durability of reinforced concrete, it is intended to generate a contribution for future evaluations of structures.

Likewise, maintenance techniques are proposed that will be evaluated according to the technical and economic situation of each entity, in charge of supervising the analyzed structure, for its better development and understanding.

Keywords: durability, reinforced concrete, pathologies, evaluation, diagnosis, visual inspection.

I. INTRODUCCIÓN

El dinero invertido en reparaciones o demoliciones de estructuras son indicadores de que actualmente no solo una buena resistencia mecánica es necesaria para asegurar una larga vida útil como antes se creía. Es necesario mantener una cultura de supervisión y mantenimiento periódico de una estructura para asegurar que las estructuras aún se encuentren actuando en condiciones favorables y no perjudiquen la vida de personas que frecuentan ellas.

Varios autores indican que la capacidad de resistencia del concreto hidráulico ante la acción del medio ambiente es la durabilidad [1]. En una condición ambiental severa, la vulnerabilidad de la estructura mayormente se refleja mediante las patologías que se manifiestan en distintas fases y por diferentes motivos que disminuyen la su vida útil.

Cuando se trabaja en circunstancias ordinarias, el prematuro deterioro de concreto puede originarse por causas estructurales o no estructurales; muy aparte de las fallas estructurales (graduales o repentinas) producidas por excesivas esfuerzos o sobrecargar de diferente origen, resulta apropiado no dejar de lado la relación frecuente existente entre ambos factores. Tomando como ejemplo las oportunidades en las que un agrietamiento de origen estructural es el punto de partida de un deterioro aparentemente no estructural, lo cual indica que es de gran importancia la oportuna detección de la sintomatología primera y el posible origen del deterioro, con la finalidad de alargar la vida útil de la estructura, a través de una correcta inspección y un adecuado mantenimiento [2].

Es de suma importancia conocer los mecanismos que provocan la degradación de una estructura debido a que se debe comprender el comportamiento del concreto como único material y añadido a esto la relación de este con el acero de refuerzo y las condiciones ambientales en la que se encuentra. Uno de los aspectos a tener en cuenta, siendo el principal causante del deterioro de estructuras sometidas a ambiente marino, es la corrosión, donde la capacidad del concreto se ve afectada provocando un agrietamiento o fragmentación del concreto.

Algunos países, donde la economía resulta insuficiente, como es el caso de México, se presentan inconvenientes para reemplazar la infraestructura cuando esta alcanzó el final de su vida útil, lo cual induce a la subutilización de estructuras que se encuentran en

inseguras condiciones y al sobre costo de reparaciones correctivas requeridas por ciertos periodos, al no optar por la demolición y nueva construcción [3].

En el Perú mayormente se observan deterioros prematuros en estructuras cercanas al mar que tienen el riesgo de colapsar sin un adecuado mantenimiento. Se tiene referencia con mayor frecuencia de casos de puentes y puertos que, mediante inspecciones visuales y algunos ensayos, requieren ser reparados o reemplazados con absoluta urgencia y en el peor de los casos, sin haber cumplido su vida útil.

Cuando se estudia una patología, es importante considerarse que se debe realizar un detallado análisis del problema, donde se especifiquen adecuadamente las formas manifiestas, las causas, la mantención estructural, los mecanismos de ocurrencia y la profilaxis. Si se realiza una correcta estimación, se podrá adoptar una de las cuatro medidas terapéuticas ante cualquier condición patológica [4].

El objetivo, referente a la seguridad estructural, de los especialistas de análisis y diseño estructural, frecuentemente se ve perjudicado puesto que no toman en cuenta los valores finales que al principio se plantean. Asimismo, cabe resaltar que es significativo indicar que, en la costa, los inmuebles se encuentran expuestos a condiciones desfavorables, donde son propensos a sufrir deterioros y, hablando económicamente, pérdidas grandes de valor de los propietarios [5].

Por lo que se menciona anteriormente, se plantea el siguiente problema de investigación: ***¿En qué medida la evaluación de agentes patológicos definirá la durabilidad del concreto armado en estructuras expuestas a ambientes marinos?***

Para dar respuesta al problema, se propone como objetivo general de esta investigación evaluar y determinar los agentes patológicos que se presentan en las estructuras y medir su influencia en la durabilidad de estas.

Para lograr llegar al objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos: reconocer y clasificar las patologías que causan el deterioro de la estructura de evaluación, presentar el pronóstico optimista o pesimista de la estructura evaluada a partir del diagnóstico de las patologías del concreto desde el punto de vista de la corrosión y presentar una alternativa o métodos de solución ante los resultados obtenidos según la inspección preliminar realizada con sus respectivos tiempos de intervención.

En cuanto a la justificación de esta investigación, viene enmarcada tanto por el aspecto social como el económico debido a que está en juego la vida de gran cantidad de personas que frecuentan estructuras próximas a zonas costeras, las cuales no cuentan con una cultura de supervisión y mantenimiento adecuado después de su construcción y durante su vida útil, por lo que una reforzamiento o rehabilitación demandaría gastos económicos en la entidad que las financia.

II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA:

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO EN VIVIENDAS DE ZONAS COSTERAS POR ACCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN LA CONURBACIÓN BARCELONA, LECHERÍA, PUERTO LA CRUZ Y GUANTA DEL ESTADO ANZOÁTEGUI.

Escalante, D., en su investigación, tiene como objetivo evaluar la durabilidad del concreto armado debido a los daños estructurales en las viviendas en zonas costeras por acción del medio ambiente en la conurbación de Barcelona, Lechería, Puerto La Cruz y Guanta del Estado Anzoátegui.

El autor, realizó una evaluación minuciosa de la estructura, indicando las insuficiencias más evidentes de la vivienda; además, presentando algunas medidas que se deberían tener en cuenta, así como en el caso de querer reparar elementos donde el recubrimiento esté desprendiéndose o se presenten fisuras debido a la corrosión del acero de refuerzo, indica que se debe aumentar la sección de las columnas, colocar el acero que carece en las vigas debido a que necesitan mayor cantidad de acero longitudinal, se pueden usar ángulos metálicos para reforzar las columnas en sus cuatro esquinas, los cuales deberán ir sujetos entre sí mediante presillas soldadas. También menciona que la parte inferior y superior del refuerzo tienen que estar formadas por ángulos.

Es así que concluye en que el ambiente climatológico en la zona de Lechería, Puerto la Cruz y Guanta se caracteriza por un alto índice de agresividad, con un porcentaje de humedad relativa de 77%, temperatura media en promedio de 27°C y picos de humedad en un 80% durante los meses de junio y agosto en el lapso de 11 años.

Cuando realiza el ensayo para indicar la presencia de dióxido de carbono en el concreto, utilizando solución de fenolftaleína, pudo observar tonalidades de violeta, lo cual es

indicador principal de la presencia de carbonatación. Usó la gráfica de Verbeck humedad Vs carbonatación, donde determinó el nivel de carbonatación, obteniendo un 97% de la misma, lo cual concierne a una humedad del 77% aproximadamente. Al aplicar la solución de nitrato de plata, se determinó que hubo presencia de cloruros por el cambio de color a blanco. Así recomienda que para evitar una rápida penetración de cloruros y sulfatos es necesario el uso de un concreto con menos porosidad y mayor resistencia mecánica según indica las Normas COVENIN. Se pudieron determinar los tipos de patologías existentes en las estructuras de Lechería, Puerto la Cruz y Guanta, siendo la corrosión, carbonatación, corrosión, disolución de la pasta del concreto y ataques químicos [6].

2.1.2. VALORACIÓN TÉCNICA DEL DETERIORO DE LAS EDIFICACIONES EN LA ZONA COSTERA DE SANTA FE.

Domínguez J. y González A. analizan el estudio de las fachadas exteriores de 17 edificaciones mediante la detección de una serie de lesiones en las fachadas por la agresividad del ambiente climatológico, por lo que finaliza su investigación concluyendo a cerca de la evolución del deterioro de estructuras en el tiempo y el parámetro correctivo a realizar, todo ello mediante un estudio técnico completo constructivo. Como objetivo general pretende analizar la necesidad de la rehabilitación de toda edificación en el transcurso de su vida útil en ambientes costeros.

Las lesiones más significativas encontradas en cada uno de los elementos de la fachada analizadas son: la humedad (lesión de mayor aparición) en 23%, seguida por las fisuras en 20%, la erosión 15%. Los elementos con mayor índice de lesiones son los revestimientos en un 31% y con menor índice la carpintería con un 16%; sin embargo, es importante indicar que la capa protectora de la carpintería se perdió en 15 de las 17 edificaciones susceptibles de análisis.

El 29 % de los casos estudiados necesitan mantenimiento y el 71 % necesita de una rehabilitación en diferentes modalidades, representando la rehabilitación media y pesada el 47 % del porcentaje antes mencionado [7].

El análisis indicó que el 55,6 % de las edificaciones experimentaron un aumento en su deterioro por condiciones ambientales.

2.1.3. INFLUENCIA DE LAS PATOLOGÍAS EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO DE EDIFICACIONES EN ZONAS CERCANAS AL MAR EN LA CIUDAD DE PAITA – PIURA 2015.

Devoto J., determina los tipos de patologías existentes en el muelle fiscal de Paita y puente peatonal entre los cuales pueden distinguirse los ataques químicos, disolución de pasta de concreto, corrosión y carbonatación. Todo ello obtenido mediante monitoreos de agrietamiento y corrosión, y, ensayos de carbonatación y tracción al acero de refuerzo. Las condiciones externas o internas, y la gravedad de problema, son determinantes de la técnica o el método de reparación más adecuado a emplear. Afirma que, los recursos tecnológicos, económicos y humanos que se tengan, también son indicadores de lo anterior mencionado. La técnica de reparación por parcheo es la que se destaca entre las más idóneas según el análisis de síntomas.

Asimismo, es recomendable, cuando ya se restauran las viviendas, la utilización de la técnica de inhibidores de corrosión como protección catódica por ánodos de sacrificio y por corriente impresa [5].

2.1.4. EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE EDIFICACIONES DE HASTA 3 NIVELES EXPUESTAS A AMBIENTE MARINO DE LA CIUDAD DE PIMENTEL, CHICLAYO.

Cruz C., realiza un diagnóstico del estado de las viviendas que permiten conocer las patologías comunes. Posteriormente se realizan algunos ensayos in situ a las estructuras dañadas, para conocer la causa y el tiempo mínimo necesario para intervenir sobre las lesiones, además realiza una inspección preliminar donde utiliza de instrumento básico la observación para la determinación de algunas patologías. Realizó ensayos de diamantina, profundidad de carbonatación, profundidad frente contaminado por iones cloruro, espesor de recubrimiento y diámetro de barra, potencial de acero, entre otros. Utiliza además el manual de evaluación de estructuras para el cálculo de la durabilidad y atribuirle una relación con la corrosión que presenta la estructura. El autor se rige de la normativa peruana para presentarlas siguientes conclusiones: la despasivación afecta la capacidad portante del elemento estructural por lo que se le considera un daño de tipo estructural, asimismo se pueden adoptar medidas de prevención del deterioro para tener ciertos cuidados, las lesiones no estructurales pueden controlarse; sin embargo si no se tratan a tiempo podrían conllevar a daños estructurales que afecten la capacidad portante como ya se mencionó anteriormente, una relación agua cemento menor a 0.5 resulta de mayor

conveniencia frente a la agresividad ambiental o química y por último el presupuesto obtenido para el tratamiento de daños no estructurales es menor a comparación del de daño estructurales. Adicionalmente recomienda implantar una normativa local amplia, atacar a las patologías en su periodo de iniciación ya que después el costo es mayor, si es posible restringir todas las vías posibles de las patologías, se deberá utilizar agua potable para el mezclado, para los mortero de reparación se debe contar con trabajabilidad, fluidez y flexibilidad, consultar fichas técnicas de materiales a usar y siempre leer con anterioridad la dicha de seguridad de los aditivos que se requieran emplear [8].

2.1.5. PATOLOGÍAS, INSPECCIÓN Y PROPUESTAS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MUELLES PORTUARIOS - CASO REGIÓN ANCASH PERÚ.

Ávila, Y. indica que frecuentemente las estructuras de concreto armado, expuestas a ambiente marino, denotan degradación a consecuencia de la presencia de cloruros (corrosión en el refuerzo). Algunas veces, dicha degradación, años después de la construcción de la estructura, es visible.

También señala que existen otros factores que alteran la estructura, como es la mala calidad de construcción por ausencia de especializada mano de obra, deficiencia en normativas, falta de información de algunos parámetros influyentes en el desarrollo de la degradación.

Gracias a que la normativa va desarrollándose de mejor manera con el paso del tiempo, el profesional diseñador se ve beneficiado en cuando a las especificaciones referentes a la durabilidad de las estructuras.

La gran mayoría de muelles portuarios de la región de Ancash presentan patologías a causa de la ubicación, entorno agresivo altamente, adicional a ello, se denota la falta de mantenimiento y antigüedad de las mismas.

La durabilidad de las estructuras que se encuentran en ambiente marino principalmente, depende de la practica constructiva llevada a cabo. Cabe mencionar que algunos muelles en el Perú tienen gran antigüedad, cerca de 40 o 50 años de edad, por lo que es necesario aplicar maneras para alargar la vida útil y, de esta manera, seguir prestando el servicio a la población.

El autor realizó esta investigación con la finalidad de informar a los lectores sobre los diferentes tipos de patologías que pueden originarse en estructuras de concreto armado, como es el caso de muelles portuarios [9].

2.2 BASES TEÓRICO-CIENTÍFICAS

2.2.1. PATOLOGÍA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO

Una patología del concreto puede precisarse como un estudio metódico de características y procesos de los defectos y daños que puede sufrir el concreto; así como de sus remedios, consecuencias y causas [1]. Su importancia radica en que, mediante una buena prevención de fallas de una determinada estructura, pueden evitarse daños irreparables como pérdidas humanas o menos importantes como gastos económicos fuertes que dañarían en todo caso el estado económico de la institución que financió dicha estructura. Mediante el siguiente esquema se podrá observar el alcance de una patología según un modelo de secuencia de los procesos que sigue.

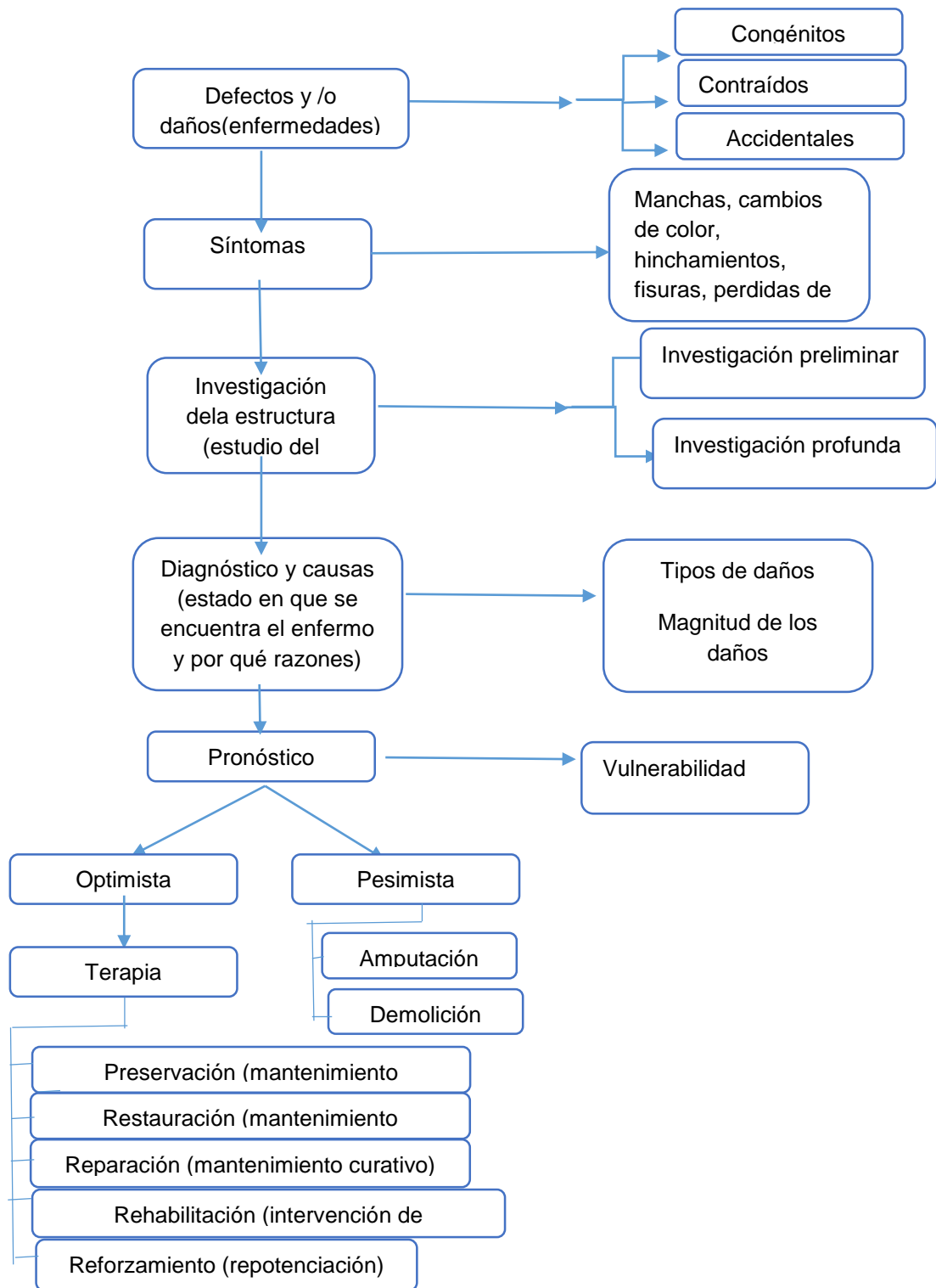


Gráfico 1 Modelo de secuencia de los procesos que sigue la patología del concreto [1].

En cada tipo de obra podría usarse este cuestionario para definir y luego clasificar los problemas patológicos:

- Tipo de obra
- Naturaleza de la estructura
- Localización de las lesiones
- Manifestaciones
- Causas de las lesiones
- Origen de las lesiones
- Ambiente en que está la obra
- Estimación de la reparación
- Fecha de supervisión
- Edad de la obra en el momento de la supervisión
- Otras informaciones

Las lesiones en las estructuras cuentan con un carácter evolutivo, por lo que pueden llegar a peligrar. Sin embargo, se puede actuar antes de que la estructura llegue a un estado más crítico y se pierdan las oportunidades de una realizarle una posible terapia. [10]

Según estadísticas europeas se puede advertir que los daños causados por fallas en proyectos son los que predominan, seguidos de los resultantes de una ejecución poco cuidadosa. La mayoría de daños se detectan durante la ejecución de obra y con posterioridad a ella.

Es complementario para el estudio de una patología la utilización de métodos de ensayos para suplementar las observaciones oculares; es conveniente que dichos métodos sean no destructivos para no favorecer el daño que está presente en la estructura.

2.2.1.1. CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS EN CONCRETO

Es fundamental profundizar, no solo en especificaciones y diseño de una mezcla de concreto, sino además en el diseño y concepción de los diseños estructurales y arquitectónico, en las técnicas de puesta en servicio, curado y protección, y en procedimientos de mantenimiento e inspección de estructuras; puesto que las estructuras de concreto armado se encuentran susceptibles a acciones físicas, como cambios bruscos de humedad y temperatura, acciones mecánicas, como las cargas de servicio, y, acciones químicas o biológicas.

La vida útil de una estructura está relacionada directamente con el comportamiento de la misma a lo largo de un tiempo extenso bajo condiciones de servicio concretas. Es por ellos, que a la vida útil se la toma en cuenta como el periodo en el que la estructura conserva requisitos previstos de seguras, funcionalidad y estética, sin dejar de lado los costos de mantenimiento [1].

2.2.2. DETERIORO DE ESTRUCTURAS

2.2.2.1. ATAQUE DE LOS SULFATOS

La reacción agresiva de sulfatos externos sobre el concreto se da por dos motivos, el primero es cuando ocurre la reacción química del hidróxido de calcio, el que se libera en la hidratación del cemento, y la segunda por compuestos hidratados que se originan en el aluminato tricálcico del propio cemento [1].

El mortero que más se expande, en conclusión, es el que contiene mayores proporciones acumuladas de aluminato tricálcico y silicato tricálcico y además se puede deducir que a mayor expansión del mortero, mayor es el contenido de silicato tricálcico. A continuación, se muestra la figura donde se representa la expansión de especímenes de mortero elaborador con diversos cementos Portland.

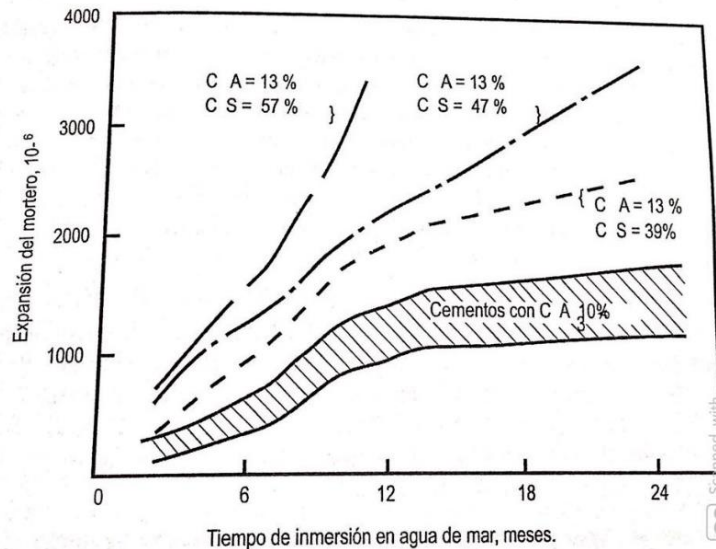


Figura 1 Influencia de la composición del cemento Portland en la expansión de morteros almacenados en agua de mar [1].

La condición más desfavorable en la que una estructura puede encontrarse es cuando un sulfato se encuentra de solución debido a que mediante la permeabilidad del concreto ingresa con mayor rapidez, a comparación de cuando se encuentra en estado sólido. También puede depender de la presencia de humedad, la descomposición del concreto, principalmente el tipo y cantidad del cemento.

Lo más recomendable ante un problema como este es utilizar un cementante apropiado, bajar la relación agua/cemento y, en el caso de que sea accesible, aplicar un recubrimiento superficial al concreto endurecido.

2.2.2.2. ATAQUE CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

Desde ya, cabe decir que una de las causas principales del deterioro de una estructura es la corrosión del acero de refuerzo. Esta se origina directamente por ataques químicos a causa de un proceso electroquímico que implica una corriente, lo cual viene a ser el primordial causante de la corrosión prematura del acero de refuerzo.

El procedimiento se da cuando, por conexión eléctrica, un flujo de electrones del ánodo se trasfiere al cátodo. Dicha conexión descompone químicamente al electrolito, que es la parte de enlace entre el cátodo y el ánodo, generando desplazamiento de iones, donde la manifestación es la desintegración paulatina del ánodo y la corrosión [1].

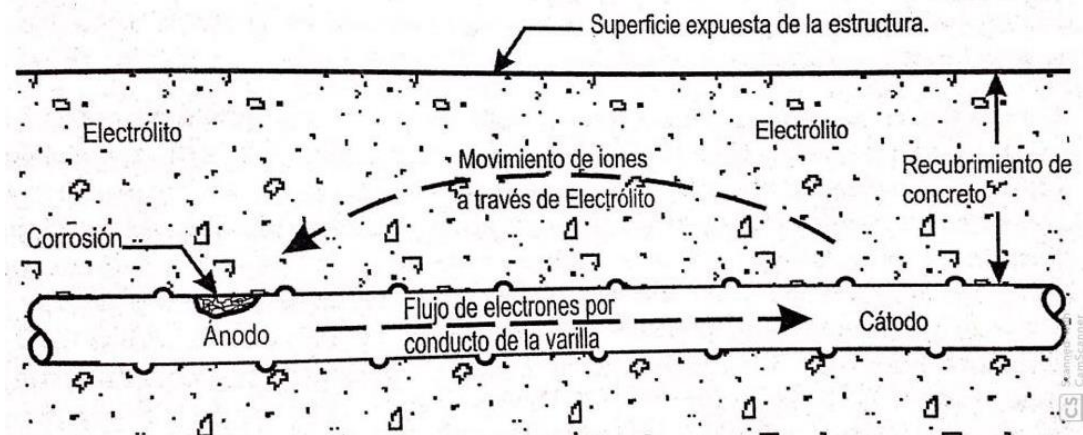


Figura 2 Representación esquemática de una celda de corrosión electroquímica en el concreto reforzado [1].

Mantener la totalidad de la película de pasivación que reviste las varillas significa que el acero de refuerzo cuenta con protección natural. Existen agentes que no favorecen sus condiciones, tales como:

INFLUENCIA DE LA CARBONATACIÓN

La carbonatación ocurre cuando el hidróxido de calcio, originado en la hidratación del cemento, forma hidróxido de calcio gracias al dióxido de carbono del aire. Como consecuencia se genera:

- Disminución del volumen del concreto (contracción por carbonatación).
- En el concreto, disminuye la alcalinidad, desde la superficie al interior de la estructura.

La carbonatación puede llegar al grado de destruir la pasivación del acero de refuerzo si la cantidad natural de hidróxido de calcio, así como también la alcalinidad del concreto disminuyen lo suficiente. Todo depende de la calidad del concreto, si el concreto presenta buena calidad, la profundidad de carbonatación será de pocos milímetros a pesar de que hayan transcurrido varios años de servicio [1].

INFLUENCIA DE LOS CLORUROS

Al igual que en el caso de los sulfatos, los cloruros deben estar en estado de solución para poner en riesgo una estructura.

Los cloruros pueden quedar dentro del sistema estructural por vía interna o externa. Por vía interna quiere decir durante la etapa de elaboración del concreto; y por vía externa se sobreentiende que por el medio externo de contacto [1].

Existen dos técnicas para medir el contenido del cloruro en el concreto. La primera es determinación de cloruros solubles en ácidos y la otra forma es la misma determinación, pero en agua.

Es conveniente realizar determinar el contenido de cloruros de la mezcla separando sus elementos y haciendo una estimación total según cada parte individual tomada y de proporciones que se quieren usar más adelante.

2.2.2.3. FISURACIÓN

Las fisuras presentan las mismas sintomatologías que las grietas; no obstante, su origen y evolución son diferentes debido a que su origen y evolución son distintos. La fisuración es controlada por el acero de refuerzo para que posteriormente no se convierta en grieta.

Estas fisuras se dividen en:

-Inherente al acabado: se da en secciones naturales en proceso de secado. Producida por movimiento de dilatación, referido a contracción y retracción.

-Reflejo del soporte: se origina en el soporte debido a discontinuidad constructiva, ausencia de adherencia, junta o deformación, momento en el que el soporte se somete a un movimiento que no puede soportar.

2.2.2.4. INTEMPERISMO

En otras palabras, se refiere a las condiciones atmosféricas en la que se encuentra expuesta la estructura de concreto armado, en el curso de su vida de servicio. Tenemos el claro ejemplo de los cloruros que son originarios del agua de mar hallados en suspensión en el aire marítimo que afectan al concreto cuando se ponen en contacto con este [1].

A) AIRE ATMOSFÉRICO

El contenido de gases en el aire atmosférico mayormente se encuentra en proporciones normales por lo que no causa daños o fallas en el concreto. Sin embargo, se pueden distinguir agentes que perjudican la estructura como por ejemplos los cloruros originados del agua de mar, hallados en suspensión en el aire marítimo y gases que en gran parte son descargados por industrias sin ningún tipo de mitigación ambiental.

2.2.2.5. EFLORESCENCIAS

Depósito salino, usualmente de color blanco, amarillento o pardo, que se depositan en la superficie del concreto endurecido, usualmente pueden ser trasladadas mediante capilaridad por los poros, sedimentándose en la superficie en el momento en el que el agua se evapora por el aire y los rayos solares [1].

Existen depósitos eflorescentes que se clasifican respecto a la solubilidad en el agua de la sustancia química. Las eflorescencias son causadas en su mayoría por carbonatos de calcio, sulfatos de calcio y sales malticas.

2.2.2.5. DESPRENDIMIENTOS

Mayormente se produce por lesiones previas como humedades y deformaciones o grietas. Es la desunión entre un material específico y el soporte al que se aplica, debido a la ausencia de adherencia entre ellos dos.

2.2.3. INFLUENCIA DEL AMBIENTE MARINO

2.2.3.1. ZONA DE AMBIENTE MARINO

Debido a la evaporación parcial del agua de mar, más aún cuando la humedad relativa es baja y la temperatura es muy alta, se concentran gran cantidad de cloruros y sulfatos suspendidos en la atmósfera y no solo atacan directamente al concreto sino también al acero de refuerzo provocando corrosión.

En el concreto, la corrosión es causante de fallas tales como desprendimientos de revestimiento, fisuras y grietas, y sobretodo daña de forma invisible, provocando que la estructura sea muy vulnerable ante cualquier situación sísmica. Se reduce la sección del

refuerzo por lo que ya no soporta toda la carga para la que fue diseñado, sino tan solo una parte de esta.

Cuando la humedad ambiental es baja, como es el caso de estructuras aéreas, los poros del concreto mayormente se llenan de aire, y, cuando la humedad es mayor, la parte superficial de los poros se cubre con una capa de agua adsorbida. Es así que, los cloruros que se extienden mediante la capa mencionada anteriormente, la cual reviste las paredes de los poros, o se difunden a través de poros llenos de agua. Mientras menor sea la cantidad de agua, la difusión se reduce. Cabe mencionar que la gradiente de tensiones induce la difusión por humedad en el aire, en el proceso de transporte de sustancias disueltas en agua [5].

2.2.3.2. REFUERZOS DAÑADOS A CAUSA DE AMBIENTE MARINO

Es de absoluta importancia abordar el tema de la corrosión por los peligros que conllevan y los perjuicios económicos que ocasionarían en el caso de que se hagan reparaciones, mantenimientos o demoliciones a causa de daños excesivos provocados por esta patología.

Existen situaciones climatológicas en diferentes países que deberían preocuparnos y motivarnos a realizar estudios suficientes para tener mayores conocimientos sobre el fenómeno corrosivo con vistas a implementación de técnicas de protección de tal manera que la estructura pueda cumplir su vida útil con un margen de seguridad adecuado.

2.2.3.3. DAÑOS PROVOCADOS EN ESTRUCTURAS SOMETIDAS A LA ACCION DE ATMÓSFERA MARINA

La fisuración es uno de los primeros síntomas que se produce en algún elemento donde se inició la corrosión. Las fisuras que, en un comienzo con capilares, son originadas por tensiones causadas por el óxido expansivo a los alrededores de las barras; éstas se abren conforme pasa el tiempo y además empiezan a multiplicarse, coincidiendo estas con los cercos y estribos.

Algunos parámetros como carbonatación, oxígeno, presencia de iones de cloro y humedad, son determinantes del avance de fisuración y corrosión. Cuando se alcanza un

buen desarrollo de estos últimos, se origina un desprendimiento de las esquinas de los elementos, e incluso, algunas veces provoca un desprendimiento de todo el recubrimiento por efecto de la laminación [11].

2.2.4. MANUAL DE EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS

Este Manual ha sido preparado por Geocisa (J. Rodríguez y J. Arangoncillo) y por el Instituto de Ciencias en la Construcción “Eduardo Torroja” del CSIC (C. Andrade y D. Izquierdo) dentro del proyecto de Innovación CONTECVET-IN 309021.

El manual es europeo; sin embargo, solo será usado como fundamento teórico y apropiado según la normativa peruana vigente.

A continuación, se presenta un esquema extraído del manual de la evaluación simplificada que se pretende realizar a lo largo del proyecto.

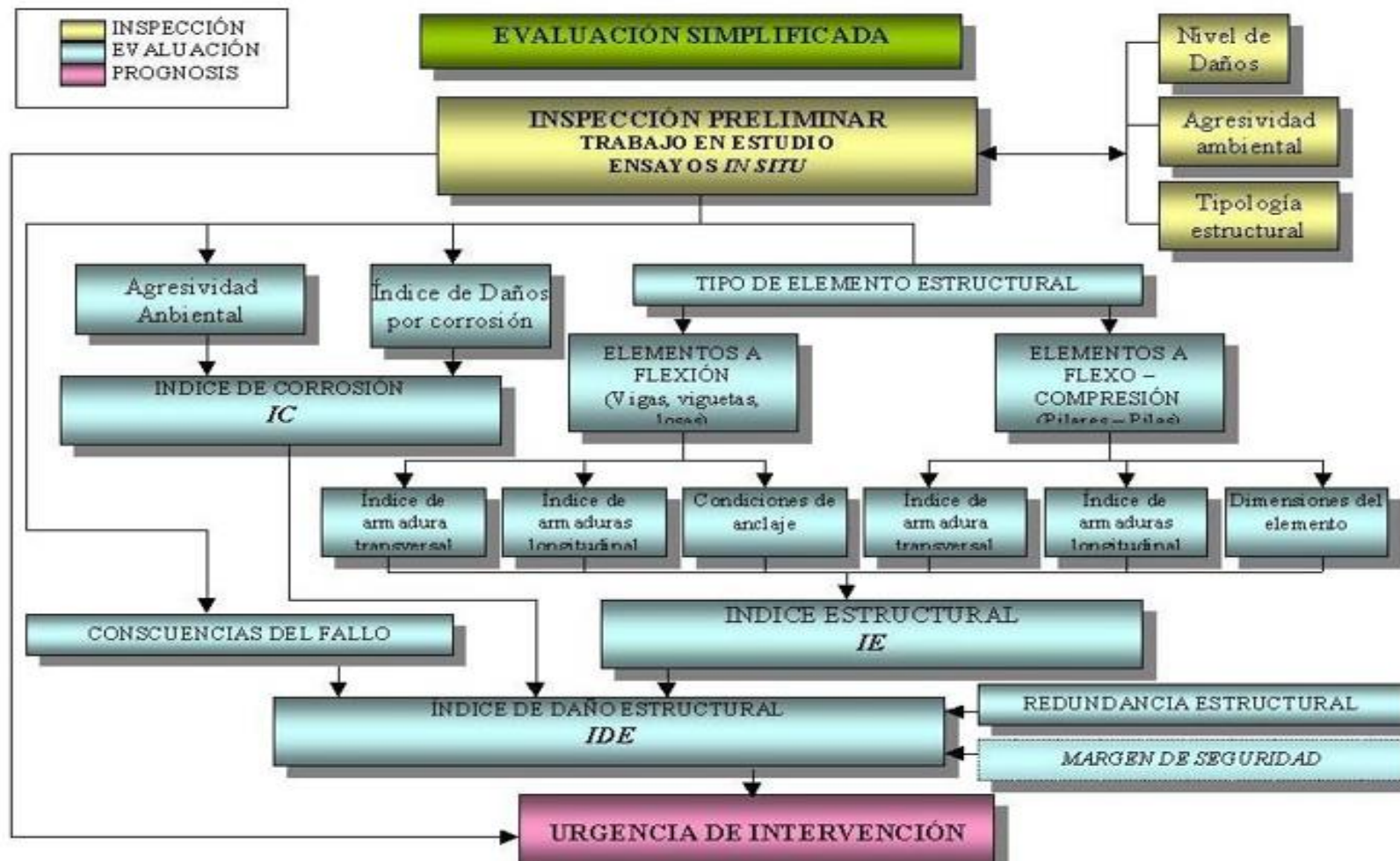


Figura 3 Representación esquemática de una celda de corrosión electrolítica en el concreto reforzado [12].

2.2.4.1. FASES DE EVALUACION

- a) Mediante la inspección detallada de una estructura que posibilite adquisición de factores necesarios para próximas evaluaciones.
- b) La propia fase de evaluación.
- c) La fase de pronosis y clasificación del nivel de daño con el tiempo.

La principal finalidad de la fase de inspección, es instaurar el motivo del deterioro estructural y la necesaria recopilación de información para el avance de metodologías simplificadas que se establecen en el manual.

La información que se detalla en el manual se incorpora adaptando de forma adecuada todos los parámetros recopilados en las comunes inspecciones, adicionada a la información que se necesita para la realización de una evaluación simplificada; todo aquello puesto que existen gran número de organizaciones que establecen procesos de inspección en una gestión de estructuras. Como primer paso, se debe reconocer el mecanismo que causa el deterioro que presenta la estructura.

El proceso de evaluar se justifica en dos aspectos importantes: el nivel de daños actuales y la agresividad ambiental; mediante la determinación de dos índices, el índice estructural (IE) y el índice de corrosión (IC). El índice estructural es una representación de la sensibilidad a la corrosión de la armadura del elemento estructural, asimismo, el índice de corrosión da a conocer los daños, actuales y futuros, de la estructura. Los dos índices se consideran para determinar el índice de daño estructural (IDE), el cual brinda una síntesis del estado actual y del futuro.

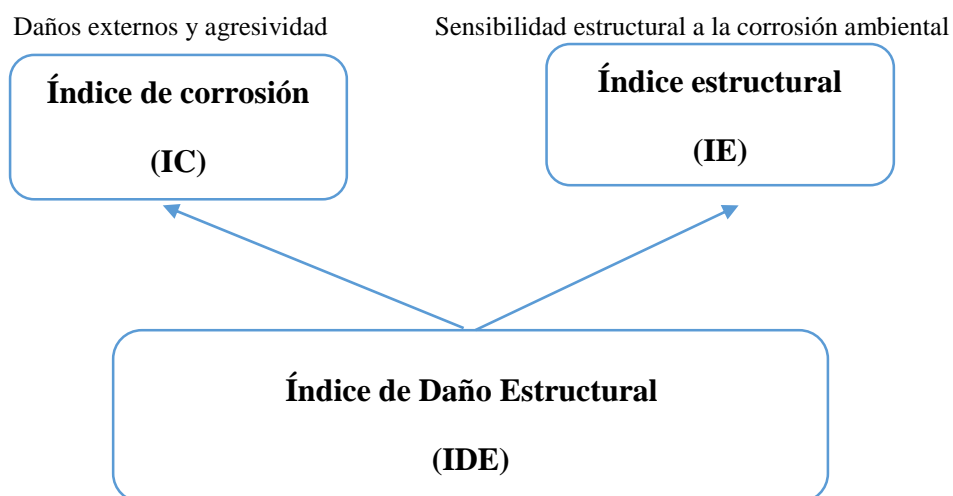


Gráfico 2 Cálculo del Índice de Daño Estructural [12].

2.2.4.1.1. FASES DE INSPECCIÓN

El principal objetivo en esta fase es la recopilación de datos necesarios con el fin de hallar el índice de daño estructural (IDE). Son tres las fases que se toman en cuenta a lo largo de la inspección, las cuales pueden llevarse a cabo al mismo tiempo: inspección preliminar o visual, el trabajo de estudio o en oficina, los ensayos in situ o sobre el elemento estructural.

Una buena opción resultaría la fusión de la inspección preliminar con los ensayos in situ del estudio en la oficina de la estructura, esto cuando la cantidad de datos susceptibles a evaluar sea escasa.

2.2.4.1.2. INSPECCIÓN PRELIMINAR

La inspección preliminar tiene como fin determinar si la corrosión se está produciendo actualmente o no, y siendo el primer caso, identificar los daños que produce.

El nivel de daño, la agresividad ambiental y el tipo de elemento estructural son indicadores de la calificación última de la estructura. Según los indicadores antes mencionados, los factores a investigar mediante inspección visual son:

- ***Tipología Estructural***

Se necesitará determinar y clasificar la tipología estructural, en casos donde se requiera. La determinación debe precisar los elementos resistentes y su funcionamiento.

- ***Identificación de la agresividad ambiental***

Según EHE 2008 se efectúa la calificación de agresividad ambiental. Como se denota a continuación:

CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN				DESCRIPCIÓN
Clase	Subclase	Designación	Tipo de proceso	
No agresiva		I	Ninguno	<ul style="list-style-type: none"> - Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones. - Elementos de concreto en masa.
Normal	Humedad alta	Ila	Corrosión de origen diferente de los cloruros.	<ul style="list-style-type: none"> - Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (> 65%) o a condensaciones. - Exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. - Elementos enterrados o sumergidos.
	Humedad media	Iib	Corrosión de origen diferente de los cloruros.	<ul style="list-style-type: none"> - Exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm.
Marina	Aérea	IIIa	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar. - Elemento exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km).
	Sumergida	IIIb	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo

				del nivel mínimo de bajar.
	En zona de carrera de mareas y en zonas de salpicaduras	IIIc	Corrosión por cloruros	- Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de salpicaduras o en zona de carrera de mareas.
Con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	Corrosión por cloruros	- Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino. - Superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas.

Tabla 1 Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las armaduras [12].

Designación	Descripción del ambiente	Ejemplos
1.- Sin riesgo de corrosión		
X0	Para concreto en masa: todos los ambientes excepto donde hay acciones de deshielo, abrasión o ataques químicos.	Concreto en interiores de edificio con niveles de humedad muy bajos.
2.- Corrosión inducida por carbonatación.		
Cuando el concreto armado está expuesto a ambientes húmedos, la exposición debe ser clasificada de la siguiente forma: <i>*Nota:</i> las condiciones de humedad a considerar en el recubrimiento de concreto, en algunos casos, pueden ser las mismas que las del ambiente circundante. En estos casos la clasificación de dicho ambiente debe ser la adecuada. Esta observación no es válida en el caso de existir una barrera entre el concreto y el ambiente.		
XC1	Seco o permanentemente húmedo	Concreto armado en el interior de edificios con humedad relativa baja. Concreto permanentemente

		sumergido.
XC2	Húmedo, raramente seco	Superficies de concreto sometidas a contacto con el agua durante largos periodos. Cimentaciones.
XC3	Humedad moderada	Concreto armado en el interior de edificios con humedad relativa moderada. Concreto en exteriores protegidos de la lluvia.
XC4	Ciclos húmedos y secos	Superficies de concreto en contacto con agua, no incluidas en la clase XC2.
3.- Corrosión inducida por cloruros de origen distinto del marino		
XD1	Moderadamente húmedo	Superficie de concreto expuestas a los cloruros contenidos en aire.
XD2	Húmedo raramente seco	Piscinas. Concreto expuesto a la acción de aguas industriales que contienen cloruros.
XD3	Ciclos húmedos y secos	Partes de puentes expuestos a salpicaduras que contienen cloruros.
4.- Corrosión inducida por cloruros de origen marino		
XS1	Exposición a la acción de la sal contenida en el aire pero no en contacto con el agua de mar.	Estructuras cerca del mar o en la costa.
XS2	Permanentemente sumergidas.	Parte de estructuras marítimas.
XS3	Zonas expuestas a la acción de la marea o salpicaduras.	Parte de estructuras marítimas.

Tabla 2 Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las armaduras [12].

- **Identificación del nivel de daño**

Primero se encontrará la diferencia entre el origen de los daños ocasionados, por lo que se tendrán tres probabilidades:

-Daños ocasionados por reacciones del concreto con agentes agresivos como agentes expansivos o sulfatos.

-Daños provocados por efecto de corrosión de armaduras, como puede ser presencia de manchas, delaminación, saltado de recubrimiento o fisuración paralela.

-Daños por el funcionamiento estructural del elemento, como fisuras verticales o inclinadas en las zonas flexión o cortante respectivamente.

Los daños por corrosión en armaduras pueden detectarse según los siguientes determinantes:

- ❖ *Spalling o pérdida del recubrimiento en zonas determinadas*: esto ocurre cuando la corrosión ya va presentándose en un tiempo extenso, donde la presión que provocan los óxidos fisuran el recubrimiento, haciéndolo estallar en algunos casos. Este caso suele presentarse en elementos sometidos a compresión o zonas inferiores.
- ❖ *Fisuras*: mayormente son paralelas a la zona de la armadura afectada, es decir, a la armadura longitudinal o cerco. Son fáciles de identificar y distinguir en manchas de óxidos.
- ❖ *Manchas*: se deben determinar la extensión y nivel de corrosión que se puede apreciar.

2.2.4.1.3. TRABAJO EN OFICINA

Los pasos a seguir en este punto son tres:

1. Recolección de datos previos

Reconociendo la edad de la estructura; tipología de la estructura y la disposición de elementos resistentes para conocer la forma en que se transiten las cargas a la cimentación y los cambios estructurales que se produjeron a lo largo de su vida de servicio; las inspecciones realizadas con anterioridad y verificación de los resultados; la cantidad de reparaciones que se han realizado (naturaleza y extensión); y, las pruebas de carga y los resultados.

2. Identificación de la agresividad ambiental

Se clasifica la agresividad ambiental según los parámetros de exposición de los elementos, respecto a los datos que se recogieron mediante la inspección visual. Cada lote o elemento recibirá una clase exposición según la Tabla 1 y 2.

3. Clasificación del tipo y la extensión de los daños

Aquí se determinan los daños ocasionados por la corrosión, para ello será esencial un levantamiento de daños a partir de la inspección visual.

Los daños se agruparán según seis indicadores de daño de corrosión (IDC), los cuales podrán permitirnos hablar el índice de corrosión (IC), estos son:

- i. La profundidad de penetración de los agresivos X_{CO_2} , X_{Cl} . (frente de carbonatación o concentración de cloruros).
- ii. Recubrimiento de las armaduras, c
- iii. Fisuración y estallido del recubrimiento, Cr
- iv. Presencia de manchas de óxido en la superficie y pérdida de diámetro de la armadura si existiera, ϕ
- v. Valores de la intensidad de corrosión I_{corr} , y
- vi. Valores de la Resistividad eléctrica del concreto, ρ .

2.2.4.1.4. AGRUPACIÓN EN LOTES

De acuerdo a la agresividad ambiental, tipo y nivel de año, y , tipología estructural, se agrupa la estructura en lotes. En cada uno de ellos se tomarán las medidas y se realizarán los ensayos que se necesitan para hablar el índice de daño estructural, el cual será representativo de cada lote.

2.2.4.1.5. ENSAYOS IN SITU

La cantidad de ensayos debe ser mínima, el caso de un procedimiento simplificado:

Geometría del elemento

Los lotes se inspeccionan para definir dimensiones geométricas, además del número de armaduras, recubrimiento y diámetro. Las dimensiones reales serán necesarias para la evaluación de las cargas que llegan a la cimentación.

Resistencia del material

Cuando se requiera precisar el margen de seguridad, se estimará la resistencia de los materiales (concreto y acero). Por ello, se pueden emplear tres formas para tener un valor que sea representativo en el cálculo de un margen de seguridad. Estas son:

- Resistencias mínimas prescritas por la normativa de la época de construcción de la estructura.
- Valores nominales a partir la memoria de construcción y de los planos.
- Ensayos de laboratorio mediante muestras de acero o testigos de concreto.

Detalle de armado

En la medida que sea posible, se debe alcanzar el detalle de armado de los elementos del lote, mediante uso de instrumentos como son los pachómetros, los que posibilitan la determinación de la disposición y cantidad de armaduras. Si hubiera planos, estos nos servirían para contrastar lo determinado con el pachómetro.

Profundidad de penetración de los agresivos

Cuando ocurre carbonatación en el recubrimiento, gracias al ensayo de fenolftaleína, se puede determinar el avance del frente agresivo. Cuando ocurre una penetración de cloruros (en el concreto o de origen marino) se hacen determinaciones puntuales o perfiles completos de los cloruros, por lo que se extraen testigos del elemento analizado. Existen también casos en los que no se puedan extraer testigos, por lo que se puede emplear un martillo para determinar al menos la presencia de cloruros en el concreto.

Medidas de corrosión

Por cálculo de penetración de ataque, la velocidad de corrosión representativa se da según tres tipos de ensayo: la medida de la resistividad, la medida de la pérdida de sección del acero y la intensidad de corrosión.

La intensidad de corrosión brinda un valor instantáneo de la velocidad de corrosión. La medida de la pérdida de sección nos informa la importancia de dicho ataque. La medida de la resistividad nos indica la humedad presente en la estructura.

2.2.4.2. EVALUACION DE LA ESTRUCTURA

Se establecen dos partes cuando se evalúa una estructura. La primera referida al estado actual (diagnóstico) y la segunda a la evolución en el tiempo (pronóstico). En los dos casos, los modelos básicos son casi los mismos.

En la fase de diagnóstico, en el procedimiento simplificado, se califica el estado actual en el que se encuentra la estructura, la cual se determina en función de un índice de daño estructural (simplificado) IDE, el cual se justifica en la información que se obtuvo de la inspección y de los ensayos in situ con el uso de una metodología semi-empírica y fundamentada en la ponderación de diferentes parámetros como son: velocidad de corrosión, grado de solicitaciones, nivel de agresividad, redundancia estructural y el nivel de armado de estructura.

En la segunda fase, pronóstico, se fija la clasificación de urgencia de algún tipo de intervención (reparación de la estructura o una nueva inspección). Si en el caso se necesite mayor información, como la estimación de la vida residual o la capacidad portante en el tiempo, se empleará una evaluación detallada, ya no simplificada.

2.2.4.2.1. DIAGNOSIS DE LA ESTRUCTURA

2.2.4.2.1.1. EL ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL (IDE)

El IDE se fundamenta en un tipo de clasificación semi-empírica como se mencionó anteriormente, la cual considera diferentes factores del problema, como son los niveles de daño, las condiciones ambientales, el proceso de corrosión y la sensibilidad de la capacidad portante de la estructura ante la corrosión de armadura). Finalmente, como calificación del elemento, se recomienda la intervención o acudir a un proceso de evaluación detallada.

El índice de daño estructural se calcula mediante la determinación de dos parámetros: el índice de corrosión (IC) el cual se calculó mediante la agresividad ambiental AA y del nivel de daño que se presentó en el elemento, es decir, el índice de daño por corrosión (IDC). El IE (índice estructural) brinda, por otro lado, la sensibilidad de la estructura ante la corrosión de las armaduras.

2.2.4.2.1.2. EL ÍNDICE DE CORROSIÓN (IC)

Este índice nos señala el daño estructural causado por la corrosión y nos informa sobre la velocidad del deterioro del elemento. El proceso de corrosión se gradúa en cuatro niveles generales, mediante el estado presente y la velocidad de corrosión, los cuales son: N (sin corrosión); B (baja corrosión); M (corrosión moderada); A (corrosión alta). Dicha clasificación se realiza a partir del IC.

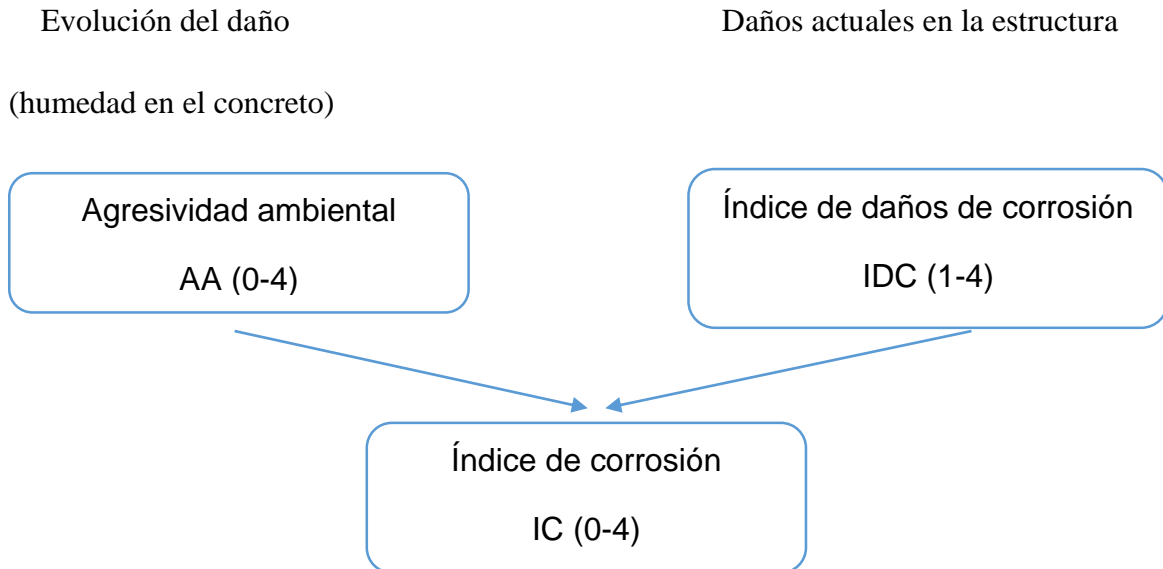


Gráfico 3 Cálculo del Índice de Corrosión [12].

El índice de corrosión IC se define mediante el valor que se obtiene de los indicadores de daños por corrosión IDC y la agresividad ambiental AA, como se demuestra en el Gráfico 3.

Para determinar los valores de IDC se emplea la Tabla 3, donde se identifican seis indicadores que denotan la previsible evolución del deterioro y el estado actual. Por ello hay IDC que indican la situación presente, como es el caso del XCO₂ o XCl, y la futura intensidad de corrosión.

Indicador	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
Profundidad de carbonatación [X _{CO2}]	X _{CO2} = 0	X _{CO2} < c	X _{CO2} = c	X _{CO2} > c
Nivel de cloruros [X _{Cl}]	X _{Cl} = 0	X _{Cl} < c	X _{Cl} = c	X _{Cl} > c
Fisuración por corrosión en el recubrimiento [w]	Sin fisuras	Fisuras < 0.3 mm	Fisuras > 0.3 mm	Fisuración generalizada y estallidos

Resistividad (Ωm) [ρ]	> 1000	500-1000	100-500	< 100
Valores de potencial (V vs Cu/CuSO4)	E>-0.200	-0.200>E>-0.275	-0.275>E>-0.350	E<-0.350
Pérdida sección [Ø]	< 1 %	1 - 5 %	5 - 10 %	> 10 %

Tabla 3 Indicadores de corrosión [12].

El IDC se calcula a partir de adjudicar puntos de 1 a 4 a los cuatro niveles (de I a IV) establecidos y realizando la media aritmética de la suma de todos los indicadores. Así:

$$IDC = \frac{\sum_{I=1}^6 \text{Nivel de indicador}}{6}$$

La agresividad ambiental AA se calcula al adjudicar puntos de 1 a 4 a las clases de exposición. Según la clasificación de la EHE08, se obtiene el valor de la AA mediante la siguiente tabla:

Clase	X0	X1	XC3	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Valor	0	1	1	2	3	2	3	4	2	3	4

Tabla 4 Valores del factor AA [12].

Por último, el IC se calcula promediando los valores del IDC y de AA según:

$$\text{ÍNDICE DE CORROSIÓN} = \frac{AA + IC}{2}$$

La calificación final del IC de la estructura se puede establecer por:

Nivel de corrosión	Valor del índice
Corrosión muy baja	0 – 1
Corrosión baja	1 – 2
Corrosión media	2 – 3
Corrosión alta	3 – 4

Tabla 5 Índice de corrosión y nivel de corrosión [12].

2.2.4.2.1.3. EL ÍNDICE ESTRUCTURAL (IE)

Se observan diferentes repercusiones de corrosión de armaduras en el concreto debido a factores como el nivel de armado, tipo de sección y los esfuerzos, tipos de armadura, entre otros. Es así, que el índice estructural IE pretende basarse en dichos factores para poder dar una calificación a la estructura. Se muestra la siguiente calificación entre elementos sometidos a flexo-compresión y sometidos a flexión.

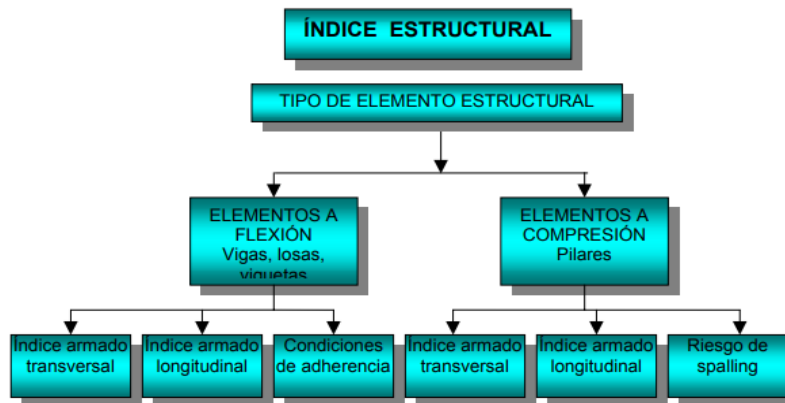


Figura 4 Índice estructural [12].

a) Elementos sometidos a flexión

Se calcula el índice de armado transversal, tomando en cuenta la distancia entre estribos y el diámetro de la armadura transversal. Ambos parámetros son usados como entrada en la Tabla 6 para el cálculo del índice armado transversal.

ϕ_t	Separación de los cercos			Sin cercos
	$s_t \leq 0.5 d$	$S_t > 0.5 d$ (4 ramas)	$s_t > 0.5 d$	
>8 mm	1	1	2	1
≤ 8 mm	2	2	3	

Tabla 6 Índice de armado transversal [12].

Donde:

– ϕ_t es el diámetro de la armadura transversal en [mm]; d es el canto efectivo de la sección [mm];
 s_t es la separación entre estribos en [mm].

Cuando ya se definió el índice de armado transversal, se emplea la Tabla 7 para definir el índice estructural para elementos que se encuentran sometidos a flexión, ello en función del índice de armado transversal (calculado previamente) y el armado longitudinal.

Existen dos categorías de armado longitudinal que dependen del diámetro de la barra:

- Barras de diámetro medio o pequeño: armado longitudinal formado por barras de diámetro $\varnothing < 20$ mm.
- Barras de gran diámetro: barras de diámetro ≥ 20 mm.

Dentro de cada diámetro, se toman en cuenta dos subcategorías, las cuales se rigen por la cuantía de la armadura a tracción, pues las vigas con cuantía baja a flexión son más sensibles a corrosión reducida de armaduras. Por eso se presentan dos tipos de cuantías, alta y baja, según la siguiente determinación:

- Alta para $\rho_1 > 1.5$ %
- Baja para $\rho_1 < 1.0$ %

El estructurista decide la clasificación a usar respecto a los valores intermedios de ρ_1 . Si la cuantía de armadura longitudinal (ρ_1) es alta, se tomará en consideración la cuantía de armadura longitudinal en compresión (ρ_2) pues cabe la posibilidad de ocurrencia de un estallido del recubrimiento. Si $\rho_2 > 0.5\%$, el IE debe ser igual al determinado para cuantías bajas de ρ_1 .

INDICE DE ARMADO TRANSVERSAL (**)	ARMADURA LONGITUDINAL (mm)			
	$\varnothing \geq 20$		$\varnothing < 20$	
	Alta cuantía	Baja Cuantía	Alta cuantía	Baja Cuantía
1	I	II	II	III
2	II	III	III	IV
3	III	IV	IV	IV

Tabla 7 Índice estructural (vigas) [12].

(*) Se deberá también considerar:

(Detalle de la armadura en compresión)

Lo definido en la tabla anterior representa a modalidades normales donde algunas barras de armaduras principales se anclan en puntos medios de un elemento y pueden presentar un fallo

causado por adherencia. Cuando ocurre el caso donde las barras de tracción se encuentren ancladas en los extremos de un elemento, se desplazará una columna hacia la izquierda (1 unidad por lo general), reduciéndose el índice estructural.

Armado transversal	Viga plana ($h < b$)		Vigas de canto, losas, viguetas	
	Sección de apoyo	Sección de centro de vano	Sección de apoyo	Sección de centro de vano
Sin cercos	---	---	I	II
Alta densidad	II	III	III	IV
Baja densidad	III	IV	IV	IV

Tabla 8 Índice estructural (vigas) (Versión simplificada) [12].

Cuando no se posean datos de armado que se requieren para la utilización de la Tabla 7 o en todo caso, obtenerlos resulte engorroso o costoso, en la Tabla 8 se da a conocer una clasificación de elementos a flexión simplificada, donde, por obvias razones, la precisión es menor, lo cual significa que está de lado de la seguridad.

b) Elementos sometidos a flexo – compresión (soportes)

El proceso que se sigue es muy parecido al caso anterior (vigas). Primero se calcula un índice de armado transversal y luego el índice estructural. Cabe considerar los parámetros que los elementos sometidos a flexión (espacio de cercos y diámetro). El índice de armado transversal demuestra el menor o mayor riesgo de pandeo en estructuras longitudinales del soporte. La siguiente tabla nos brinda los valores de índice de armado transversal, lo cual depende los parámetros antes mencionados.

ϕ_t	$\lambda = \text{espaciado de cercos} / \phi \text{ barras principal}$	
	$\lambda \leq 10$	$10 < \lambda$
>8	1	2
≤ 8	2	3

Tabla 9 Índice estructural (vigas) (Versión simplificada) [12].

Seguidamente se obtiene el índice estructural en función del armado longitudinal. La siguiente tabla tiene en cuenta la menor o mayor probabilidad de estallido del recubrimiento ocasionado por la corrosión en las principales armaduras, pues la pérdida de capacidad resistente puede ser importante por las dimensiones pequeñas del soporte (30-40 cm como ejemplo).

Mediante el detalle de armado del soporte, espacio entre barras longitudinales, y las características de su sección, se determina la sensibilidad del elemento a la ocurrencia de un estallido del recubrimiento. Se tiene en cuenta lo siguiente:

- Espaciado entre las barras verticales del soporte: mientras menos separadas se encuentren es probable que se produzca un estallido del recubrimiento en la sección.
- η =Relación entre la sección reducida del soporte (sección bruta del soporte menos la sección que resulta de no considerar el diámetro de los cercos y el recubrimiento) referente a la sección bruta del soporte.

INDICE DE ARMADO TRANSVERSAL (*)	$\eta = \text{Índice de estallido} (*)$			
	$\eta \geq 0.75$		$\eta < 0.75$	
	Espaciado		Espaciado	
	$> 5 \varnothing$	$< 5 \varnothing$	$> 5 \varnothing$	$< 5 \varnothing$
1	I	I	II	III
2	I	II	III	IV
3	III	IV	IV	IV

Tabla 10 Índice estructural, IE (soportes) [12].

(*) El índice de estallido se define como la relación entre la sección reducida del soporte (sección sin considerar recubrimiento de concreto) y la sección bruta.

En la Tabla 11, al igual en el caso de los elementos sometidos a flexión, se brinda una clasificación de soportes simplificada, en caso se tenga dificultad al tener el detalle del armado. Asimismo, la tabla en mención se restableció en función de las dimensiones de la sección de concreto y de los datos del armado.

Armado transversal	Dimensión mínima del soporte a			
	$a > 400 \text{ mm}$		$a \leq 400 \text{ mm}$	
	<i>Alta separación de barras verticales</i>	<i>Barras verticales poco espaciadas</i>	<i>Alta separación de barras verticales</i>	<i>Barras verticales poco espaciadas</i>
Estribos poco espaciados	I	II	III	IV
Estribos muy espaciados	II	III	IV	IV

Tabla 11 Índice estructural (soportes) (tabla simplificada) [12].

2.2.4.2.1.4. CONSECUENCIAS DEL FALLO

Cuando se define la importancia de una estructura, se toman en cuenta las consecuencias de fallo de dicha estructura, las cuales son: leves (son pequeñas o no son serias) o significantes (daños importantes de materiales o representa riesgo para la vida).

Las consecuencias del daño se consideran al fijar el valor final del índice de daño estructural, IDE.

2.2.4.2.1.5. POSIBLES REDISTRIBUCIONES

El grado de hiperestaticidad de la estructura es indicador de un cambio importante en las consecuencias de corrosión en la capacidad portante de un elemento estructural.

En el caso de estructuras isostáticas (estáticamente determinadas) el fallo local en la sección del elemento conlleva al fallo inmediato de la estructura; en casos donde haya otras secciones se pueden distribuir los esfuerzos.

En el apartado 2.2.2.3. se determina el índice estructural teniendo en cuenta las probabilidades de redistribución de esfuerzos en la estructura.

2.2.4.2.1.6. EL VALOR DEL ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL, IDE

En la Tabla 12 se muestra la combinación de clasificaciones de tipos de corrosión, secciones y estructuras, la cual brinda en valor final del índice estructural. Según los siguientes niveles:

- Muy Severo (MS)
- Severo (S)
- Medio. (M)
- Despreciable. (D)

ISC	ÍNDICE ESTRUCTURAL							
	I		II		III		IV	
	Consecuencias del posible fallo							
	Leves	Signif	Leves	Signif	Leves	Signif	Leves	Signif
0 – 1	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
1 – 2	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>S</i>
2 – 3	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>MS</i>	<i>S</i>	<i>MS</i>
3 – 4	<i>S</i>	<i>MS</i>	<i>S</i>	<i>MS</i>	<i>S</i>	<i>MS</i>	<i>MS</i>	<i>MS</i>

Tabla 12 Índice de estructural (IDE) [12].

IDE: D: Despreciable, M: Medio, S: Severo, M: Muy severo

Para cada nivel del índice estructural, se proponen dos columnas en función de las consecuencias previsibles del fallo de la estructura, según se ha descrito en el apartado 2.2.2.3.

La posible redistribución de esfuerzos se tiene en cuenta mediante una reducción del índice de daño estructural obtenido directamente de la tabla anterior. En el caso de que la estructura permita la redistribución de esfuerzos se reducirá el nivel de índice en una unidad (p.ej.: de severo a medio).

2.2.4.2.1.7. MARGEN DE SEGURIDAD (MS) (ÍNDICE OPCIONAL)

Cuando se necesite calcular el margen de seguridad de un elemento para incluirlo en la evaluación, dicho índice demuestra el nivel de seguridad frente a algunas acciones que se pueden esperar. Es así que si el elemento es poco solicitado se podrá reducir en la calificación final del nivel de daño. El MS de fija de diferente modo para cada modo de fallo (flexión, flexo – compresión). Este margen representa el coeficiente parcial de seguridad de acciones de la estructura.

$$SMI = \frac{M_u}{M_k} \text{ or } \frac{N_u}{N_k}$$

NU y MU: esfuerzos últimos del elemento

NK y MK: esfuerzos característicos de evaluación.

En la Tabla 13 se muestra la clasificación del elemento en tres grupos:

Margen de seguridad	BAJO	MEDIO	ALTO
MS	$1,4 < MS < 2,0$	$2,0 < MS < 3,0$	$MS > 3,0$

Tabla 13 Márgenes de seguridad [12].

Los valores anteriores se consideran en la clasificación final del elemento. Se puede reducir uno o dos niveles la calificación final, lo cual depende de los valores del margen de seguridad. Si el margen de seguridad es menor a 1.4 se necesitará realizar una evaluación detallada de la estructura.

El MS se calcula según el tipo de elemento:

- 1) Para vigas y elementos sometidos a flexión, el margen de seguridad será el mínimo entre el valor correspondiente al margen de flexión y al margen de cortante

$$MS = \min\left(\frac{M_u}{M_k}, \frac{V_u}{V_k}\right)$$

2) Para pilares y elementos sometidos a compresión

$$MS = \frac{Nu}{Nk}$$

NU se halla considerando los probables momentos flectores sobre el pilar a través de un diagrama de interacción.

Si se calcula el valor del margen de seguridad se tendrá en consideración a través de una probable reducción en uno o dos unidades del valor del índice obtenido de la tabla anterior, respecto a la Tabla 14.

SISD	Margen de seguridad BAJO	Margen de seguridad MEDIO	Margen de seguridad ALTO
<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>D</i>
<i>M</i>	<i>M</i>	<i>D</i>	<i>D</i>
<i>S</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>D</i>
<i>MS</i>	<i>MS</i>	<i>S</i>	<i>M</i>

Tabla 14 Valor final del IDE teniendo en cuenta el margen de seguridad [12].

2.2.4.2.2. URGENCIA DE INTERVENCIÓN (PROGNOSIS)

La evaluación del comportamiento en el tiempo, en el método simplificado, se considera a través de la fijación de una futura inspección de la estructura o de plazos de intervención. Solo el método que es detallado brinda el comportamiento de la evolución en el tiempo de la capacidad portante y por ende la seguridad del elemento con el tiempo. Cuando ya se obtuvo el índice de daño estructural IDE, como en la Tabla 13, se corrige dependiendo del margen de seguridad que se calculó y la redistribución de esfuerzos y finalmente la Tabla 15 nos brinda los intervalos que se aconsejan de intervención o reparación en años.

Una vez se ha obtenido el índice de daño estructural (IDE) según la tabla 12 y corregido en función de la posible redistribución de esfuerzos y del margen de seguridad calculado, la tabla 15 proporciona los intervalos aconsejables de intervención (o reparación) en años.

IDE	Urgencia de intervención
<i>Despreciable</i>	> 10
<i>Medio</i>	5 – 10
<i>Severo</i>	2 – 5
<i>Muy Severo</i>	0 – 2

Tabla 15 Urgencia de intervención (años) [12].

El tipo de intervención estará en función del resultado obtenido en la evaluación:

- Para estructuras cuya urgencia de intervención esté por debajo de los 2 años, es posible que necesite una reparación urgente; sin embargo, la mejor opción es el recalcado de la estructura a través de una evaluación detallada.
- Para estructuras cuya urgencia de intervención está situada entre 2 y 5 años, se aconseja una evaluación detallada dentro del plazo marcado.
- Para estructuras cuyo periodo de intervención es mayor a 5 años, se aconseja una inspección de la estructura cuando hayan pasado dicha cantidad de años, midiendo si es posible las velocidades de corrosión.

2.2.4.2.3. INFORME DE EVALUACIÓN

Por último, con los ensayos que se realizaron y los datos que se recogieron de la inspección, es importante realizar un informe que debe contar con los siguiente:

Definición de los lotes de ensayos teniendo en cuenta la tipología estructural, el nivel de daño y la agresividad ambiental.

- ❖ Descripción de la estructura: tipo de cimentaciones, dimensiones de los elementos resistentes, tipología, sobrecarga estimada y carga muerta, cerramientos, entre otros.
- ❖ Diagnóstico, y estado actual de la estructura fijando si el problema se ocasionó por corrosión de las armaduras o no y determinando las características del tipo de corrosión (gran nivel de cloruros en el concreto, carbonatación del concreto), velocidad de corrosión representativa, entre otros.
- ❖ Descripción de los daños observados para cada lote estructural: manchas de óxido, fisuración, delaminación, entre otros.
- ❖ Cálculo del índice de daño estructural IDE y del nivel de corrosión.
- ❖ Los datos que se necesitan para el análisis simplificado: valores de los índices obtenidos, definición de los armados, características de materiales, entre otros.

2.2.5. CÁLCULO DE LA DURABILIDAD SEGÚN ANEXO 9 DE LA EHE 08

Se acude a la normativa española para tomarla como referencia, se deben ir adaptando los parámetros nacionales. Esta normativa modela el cálculo de durabilidad con factores de materiales que son componentes del concreto.

2.2.5.1. CÁLCULOS RELATIVOS AL ESTADO LÍMITE DE DURABILIDAD

El estado límite de durabilidad es el fallo ocasionado en el elemento al no llegar a alcanzar la vida útil del proyecto, a causa de ello, el procedimiento de degradación de las armaduras o del hormigón llegan a alcanzar un grado que es suficiente para imposibilitar a la estructura de actuar respecto a las hipótesis que se proyectó inicialmente.

La instrucción atiende a un proceso de carácter semiprobabilista, de manera analógica al que se fijó para el resto de estados límites, todo ello para verificar el estado límite de durabilidad.

La siguiente condición debe cumplirse en la comprobación del estado límite:

$$t_L > t_d$$

donde:

t_L Valor estimado de la vida útil

t_d Valor de cálculo de la vida útil

El producto de un coeficiente de seguridad con la vida útil del proyecto, resulta la vida útil de cálculo:

$$t_d = \gamma_t t_g$$

donde:

t_d Vida útil de cálculo

γ_t Coeficiente de seguridad de vida útil, para cuyo valor se adoptará $\gamma_t = 1,10$

t_g Vida útil de proyecto

2.2.5.1.1. METODO GENERAL

Este método de cálculo presenta estas fases:

- 1) Se elige la vida útil de proyecto.
- 2) Elección del coeficiente de seguridad de vida útil.
- 3) Identificación de las clases de exposición ambiental a las que puede estar sometida la estructura. Para cada clase, identificación del proceso de degradación predominante.
- 4) Selección del modelo de durabilidad correspondiente a cada proceso de degradación.
- 5) Aplicación del modelo y estimación de la vida de servicio de la estructura t_L .
- 6) Comprobación del estado límite para cada uno de los procesos de degradación identificados relevantes para la durabilidad de la estructura.

2.2.5.1.2. MODELOS DE DURABILIDAD PARA LOS PROCESOS DE CORROSIÓN

A) GENERALIDADES

Cuando hay corrosión, por cloruros o carbonatación, el tiempo total (t_L) para que la degradación o ataque sea importante, se determina de la siguiente manera:

$$t_L = t_i + t_p$$

t_i : Período de iniciación de la corrosión (tiempo que tarda la penetración del agresivo en alcanzar la armadura provocando el inicio de la corrosión)

t_p : Período de propagación (tiempo de propagación de la corrosión hasta que se origine una degradación significativa del elemento estructural).

Cabe mencionar además que el autor a cargo del proyecto puede emplear otro modelo fundamentado en una bibliografía confiable y especializada.

Cuando se cercioran del estado límite de armaduras activas, se tomará en cuenta un período de propagación, $t_p=0$. En caso de armaduras activas postesas, con trazados que sean conformes con los recubrimientos mínimos establecidos en el articulado, no es importante la comprobación del estado límite.

B) PERIODO DE INICIACIÓN

La penetración de cloruros y la carbonatación son procedimientos de difusión mediante poros, en el hormigón, los cuales se pueden modelizar según lo siguiente:

$$d = K\sqrt{t}$$

donde:

d Profundidad de penetración del agresivo, para una edad t .

K Coeficiente que depende del tipo de proceso agresivo, de las características del material y de las condiciones ambientales

Modelo de carbonatación

El cálculo del periodo de tiempo que se necesita para provocar una carbonatación a una distancia “ d ” respecto a la superficie de hormigón, se realiza así:

$$t = \left(\frac{d}{K} \right)^2$$

donde:

d Profundidad, en mm.

t Tiempo, en años.

El coeficiente de carbonatación K_c se determina de la siguiente manera:

$$K_c = c_{env} * c_{air} * a * f_{cm}^b$$

donde:

f_{cm} Resistencia media del hormigón a compresión, en N/mm², que puede estimarse a partir de la resistencia característica especificada (f_{ck}).

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

c_{env} Coeficiente de ambiente, según tabla 16.

c_{air} Coeficiente de aireantes, según tabla 17.

a, b Parámetros función del tipo de conglomerante, según tabla 18.

Tabla 16 Coeficiente c_{env} [12].

Ambiente	c_{env}
Protegido de la lluvia	1
Expuesto a la lluvia	0,5

Tabla 17 Coeficiente c_{air} [12].

Aire ocluido (%)	c_{air}
<4,5 %	1
≥ 4,5 %	0,7

Conglomerante	Cementos de la Instrucción RC 03	a	b
Cemento Portland	CEM I CEM II/A CEM II/B-S CEM II/B-L CEM II/B-LL CEM II/B-M CEM/V	1800	-1,7
	CEM II/B-P CEM II/B-V CEM IV/A CEM IV/B	360	-1,2
Cemento Portland + 28% cenizas volantes	CEM II/A-D	400	-1,2
Cemento Portland + 9% humo de sílice	CEM III/A CEM III/B	360	-1,2

Tabla 18 Parámetros función del tipo de conglomerante [12].

Modelo de penetración de cloruros

El período de tiempo que necesita para elaborar una concentración de cloruros C_{th} a una distancia “d” con referencia a la superficie del hormigón, se encuentra de la siguiente manera:

$$t = \left(\frac{d}{K_{Cl}}\right)^2$$

donde:

d Profundidad, en mm.

t Tiempo, en años.

El coeficiente de penetración de cloruros K_{Cl} tiene la siguiente expresión:

$$K_{Cl} = \alpha \sqrt{12D(t)} \left(1 - \sqrt{\frac{C_{th} - C_b}{C_s - C_b}}\right)$$

donde:

α Factor de conversión de unidades que vale 56157.

$D(t)$ Coeficiente de difusión efectivo de cloruros, para la edad t , expresado en cm^2/s

C_{th} Concentración crítica de cloruros, expresada en % en peso de cemento.

C_s Concentración de cloruros en la superficie del hormigón, expresada en % en peso de cemento. Dado que esta concentración de cloruros suele obtenerse en % en peso de hormigón, su equivalente en peso de cemento se puede calcular a partir del contenido de cemento del hormigón (en kg/m^3) como:

C_s (% peso de cemento) = C_s (% peso de hormigón) * (2300/contenido de cemento)

C_b Contenido de cloruros aportado por las materias primas (áridos, cemento, agua, etc.), en el momento de fabricación del hormigón

El coeficiente de difusión de cloruros presenta variaciones respecto a la edad del hormigón de acuerdo con la siguiente expresión:

$$D(t) = D(t_0) \left(\frac{t_0}{t}\right)^n$$

donde $D(t_0)$ es el coeficiente de difusión de cloruros a la edad t_0 , $D(t)$ el coeficiente a la edad t , y n es el factor de edad, asumiéndose un valor, por la ausencia de valores específicos obtenidos a través de ensayos sobre el hormigón, de 0,5.

Para el modelo de penetración de cloruros puede utilizarse un valor de $D(t_0)$ obtenido por ensayos específicos de difusión (donde t_0 es la edad del hormigón), o utilizar los valores de la siguiente tabla (obtenidos para $t_0 = 0,0767$).

Tipo de cemento	$a/c = 0,40$	$a/c = 0,45$	$a/c = 0,50$	$a/c = 0,55$	$a/c = 0,60$
CEM I	8,9	10,0	15,8	19,7	25,0
CEM II/A-V	5,6	6,9	9,0	10,9	14,9
CEM III	1,4	1,9	2,8	3,0	3,4

Tabla 19 Coeficientes $D(t_0)$ ($\times 10^{-12}$ m²/s) [12].

La concentración crítica de cloruros (C_{th}) se determina por el responsable del proyecto respecto a las consideraciones específicas de la estructura. En condiciones normales, se puede emplear un valor del 0,6% del peso de cemento para la comprobación del estado límite en relación con la corrosión de las armaduras pasivas. En el caso de armaduras activas pretesas, puede adoptarse un valor límite de C_{th} de 0,3% del peso de cemento.

El valor de C_s se rige por condiciones externas, en especial de la orografía del terreno y el régimen de vientos predominantes en la zona, en el caso de ambientes próximos a la costa. Además, C_s cambia con la edad del hormigón, llegando a un valor máximo a los 10 años. Algunas ocasiones de valores encontrados según de ensayos en estructuras de hormigón situadas en las proximidades, el responsable valorará la posibilidad de fijar un valor de C_s de acuerdo con tabla 20, dependiendo de la clase general de exposición:

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

Tabla 20 Concentración de cloruros en la superficie de hormigón [12].

**Si $C_{th} - C_b > C_s$, queda verificado el estado límite sin necesidad de realizar una comprobación numérica.*

C) PERIODO DE PROPAGACIÓN

Se concluye la propagación cuando se originan fisuras en el recubrimiento o hay una pérdida de sección de la armadura. Se calcula el periodo de tiempo, para que lo anterior empiece a producirse, con la expresión siguiente:

$$t = \frac{80d}{\varphi v_{corr}}$$

donde:

t_p Tiempo de propagación, en años.

d Espesor de recubrimiento en mm.

f Diámetro de la armadura, en mm.

v_{corr} , Velocidad de corrosión, en $\mu\text{m/año}$.

Cuando hay datos de experimento ausentes (condición ambiental y hormigón), se podrá determinar la velocidad de corrosión mediante la siguiente Tabla 21.

Clase general de exposición			V_{corr} ($\mu\text{m/año}$)
Normal	Humedad alta	Ila	3
	Humedad media	Ilb	2
Marina	Aérea	IIla	20
	Sumergida	IIlb	4
	En zona de mareas	IIlc	50
Con cloruros de origen diferente del medio marino		IV	20

Tabla 21 Velocidad de corrosión V_{corr} según la clase general de exposición [12].

El tiempo total (adición de el periodo de propagación de corrosión y el período de iniciación) en el caso de la corrosión por carbonatación:

$$t_L = t_i + t_p = \left(\frac{d}{K_c}\right)^2 + \frac{80d}{\varphi v_{corr}}$$

Por corrosión por cloruros será:

$$t_L = t_i + t_p = \left(\frac{d}{K}\right)^2 + \frac{80d}{\varphi v_{corr}}$$

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.

El presente trabajo es una investigación descriptiva- no experimenta que se desarrollará con la estrategia de análisis de diferentes bibliografías, en el aspecto internacional y nacional. La investigación se desarrollará en tres etapas, en las cuales será necesario realizar una inspección visual y ensayos in situ para la obtención de resultados verídicos.

3.2. HIPÓTESIS

Mediante la evaluación y diagnóstico de una estructura, se podrá determinar el índice de daños en el concreto armando que producen diferentes agentes patológicos, los cuales influyen directamente en la durabilidad de esta.

3.3.VARIABLES – OPERACIONALIZACIÓN

Variable dependiente:

- ✓ Durabilidad del concreto
- ✓ Diagnóstico de la estructura

Variable independiente:

- ✓ Existencia de elementos patológicos

Variable	Definición	Indicador	Sub indicador	Naturaleza	Unidad medida	de Instrumentos
Existencia de elementos patológicos (V. INDEPENDIENTE)	Defectos y/o daños (enfermedad) que presenta la estructura. Estudio de estos procesos que sufre el concreto por agentes que alteran su estructura interna y su comportamiento.	Concentración de sulfatos	Sulfatos en el suelo	Cuantitativa	ppm	Ensayo de laboratorio
			Sulfatos en el agua potable	Cuantitativa	ppm (mg/lt)	Ensayo de laboratorio
			Sulfatos en los agregados en estado natural	Cuantitativa	ppm (mg/kg)	Ensayo de laboratorio
			Sulfatos en el mortero endurecido	Cuantitativa	ppm (mg/kg)	Ensayo de laboratorio
		Concentración de cloruros	Cloruros en el suelo	Cuantitativa	ppm	Ensayo de laboratorio
			Cloruros en el agua potable	Cuantitativa	ppm (mg/lt)	Ensayo de laboratorio
			Cloruros en los agregados en estado natural	Cuantitativa	ppm (mg/kg)	Ensayo de laboratorio
			Cloruros en el mortero endurecido	Cuantitativa	ppm (mg/kg)	Ensayo de laboratorio
Durabilidad del concreto (V. DEPENDIENTE)	Se entiende por la capacidad para resistir la acción del ambiente en el que se encuentra una estructura, además de ataques químicos,	Daños en el concreto	Fisuras	Cualitativa	diámetro (mm)	Observación- ficha de inspección
			Desprendimientos	Cualitativa	% area(cm2)	Observación- ficha de inspección
			Eflorescencias	Cualitativa	% area(cm2)	Observación- ficha de inspección

	físicos, mecánicos o cualquier proceso referido al deterioro de esta.		Resistencia a la compresión	Cuantitativa	f _c (kg/cm ²)	Ensayo destructivo -diamantina
			Carbonatación	Cuantitativa	profundidad (cm)	Ensayo con aplicación de Fenolftaleína
			PH	Cuantitativa	adimensional	Ensayo de laboratorio
		Daños en el refuerzo	Potencial de corrosión	Cuantitativa	milivoltios(mV)	Ensayo de medición de potencial de corrosión
			Disminución de sección: Diámetro existente (mm) Diámetro teórico (mm)	Cuantitativa	%	Medición con Vernier electrónico (precisión al mm)
Diagnóstico de la estructura (V. DEPENDIENTE)	Estado en el que se encuentra la estructura y por qué razones	Investigación preliminar	Tipos de daños	Cualitativa	adimensional	Libros-marco normativo
			Magnitud de los daños	Cualitativa	adimensional	Libros-marco normativo
			Cantidad de los daños	Cuantitativa	números enteros	Observación
V. INTERVINIENTES	Tienen importancia parcial porque son influyentes en el deterioro de una estructura .	Año de antigüedad	Año de antigüedad	Cuantitativa	años	Documentos obtenidos de Municipalidad
		Recubrimiento del acero	Espesor del recubrimiento	Cuantitativa	cm	Wincha de mano

		Distancia a la línea de alta marea	Distancia	Cuantitativa	m	Google Earth(fotografía satelital)
		Humedad relativa	Humedad relativa	Cuantitativa	%	Medición al medio ambiente
		Posición de la fachada respecto a la dirección del viento	Posición de la fachada	Cualitativa	dirección	Observación

3.4. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO y MUESTREO

3.4.1 POBLACIÓN

La población del presente trabajo de investigación abarca el conjunto de fuentes utilizadas, como son artículos, tesis y libros.

3.4.2 MUESTRA

Las muestras utilizadas en este estudio fueron aquellas tesis, artículos y libros que giran en torno a la determinación y evaluación de las patologías del concreto en estructuras expuestas a ambientes marinos.

3.4.3 MUESTREO

El muestreo resulta no probabilístico por conveniencia y se encuentra determinado por la información investigada en cada una de las fuentes del tema que se aborda en zonas costeras especialmente.

3.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÉCNICA	SUB TÉCNICA	INSTRUMENTO
Fichas de evaluación preliminar	Existencia y diámetro de fisuras en el concreto	Observación- ficha de inspección
	Existencia y porcentaje de desprendimientos de un elemento de concreto	Observación- ficha de inspección
	Existencia y porcentaje de eflorescencias de un elemento de concreto	Observación- ficha de inspección
	Presencia visual de corrosión	Observación- ficha de inspección
	Año de antigüedad	Documentos obtenidos de Municipalidad
	Espesor del recubrimiento	Wincha de mano
	Distancia de la vivienda a la línea de marea alta	Google Earth(fotografía satelital)
Ensayos al concreto	Sulfatos en el mortero endurecido	Ensayo de laboratorio
	Cloruros en el mortero endurecido	Ensayo de laboratorio
	Resistencia a la compresión ($f'c$)	Ensayo destructivo - diamantina
	Profundidad de carbonatación	Ensayo con aplicación de Fenolftaleína

	Nivel de PH	Ensayo de laboratorio
Ensayos al acero	Potencial de corrosión	Ensayo de medición de potencial de corrosión
	Disminución de sección transversal	Medición con Vernier electrónico (precisión al mm)
Mediciones al medio ambiente	Sulfatos en el suelo	Ensayo de laboratorio
	Sulfatos y cloruros en el agua de mezclado	Ensayo de laboratorio
	Sulfatos y cloruros en los agregados	Ensayo de laboratorio
	Humedad relativa	Ensayo de laboratorio

3.6. PLAN DE PROCESAMIENTO PARA ANÁLISIS DE DATOS

En la primera etapa de la investigación se recopilarán antecedentes preliminares, se realizarán estudios previos mediante visitas a la estructura que se requiera evaluar, se definirá el tamaño y el número de muestras y se elaboraran fichas de inspección para registrar los datos de campos.

En la segunda etapa se identificarán los deterioros de los elementos estructurales, se clasificarán según la severidad que presenten y se medirán según la unidad de medida que correspondan, utilizando los instrumentos necesarios.

Por último, en la etapa final se realizará el procesamiento de datos mediante hojas de cálculo.

NACIONALES

PAÍS	NOMBRE DEL DOCUMENTO	AUTOR	CONCLUSIÓN
Perú	INFLUENCIA DE LAS PATOLOGIAS EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO DE EDIFICACIONES EN ZONAS CERCANAS AL MAR EN LA CIUDAD DE PAITA – PIURA 2015	Jorge Antonio Devoto Patiño	Devoto J., determina los tipos de patologías existentes en el muelle fiscal de Paita y puente peatonal entre los cuales pueden distinguirse los ataques químicos, disolución de pasta de concreto, corrosión y carbonatación. Todo ello obtenido mediante monitoreos de agrietamiento y corrosión, y, ensayos de carbonatación y tracción al acero de refuerzo. Las condiciones externas o internas, y la gravedad de problema, son determinantes de la técnica o el método de reparación más adecuado a emplear. Afirma que, los recursos tecnológicos, económicos y humanos que se tengan, también son indicadores de lo anterior mencionado. La técnica de reparación por parcheo es la que se destaca entre las más idóneas según el análisis de síntomas.
Perú	EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE EDIFICACIONES DE HASTA 3	Cesar Cruz Tafur	El autor se rige de la normativa peruana para presentarlas siguientes conclusiones: la despasivación afecta la

	<p>NIVELES EXPUESTAS A AMBIENTE MARINO DE LA CIUDAD DE PIMENTEL, CHICLAYO</p>		<p>capacidad portante del elemento estructural por lo que se le considera un daño de tipo estructural, asimismo se pueden adoptar medidas de prevención del deterioro para tener ciertos cuidados, las lesiones no estructurales pueden controlarse; sin embargo si no se tratan a tiempo podrían conllevar a daños estructurales que afecten la capacidad portante como ya se mencionó anteriormente, una relación agua cemento menor a 0.5 resulta de mayor conveniencia frente a la agresividad ambiental o química y por último el presupuesto obtenido para el tratamiento de daños no estructurales es menor a comparación del de daño estructurales. Adicionalmente recomienda implantar una normativa local amplia, atacar a las patologías en su periodo de iniciación ya que después el costo es mayor, si es posible restringir todas las vías posibles de las patologías, se deberá utilizar agua potable para el mezclado, para los mortero de reparación se debe contar con trabajabilidad, fluidez y flexibilidad, consultar fichas técnicas de materiales a usar y siempre leer con</p>
--	---	--	---

			<p>anterioridad la dicha de seguridad de los aditivos que se requieran emplear.</p>
Perú	<p>PATOLOGÍAS, INSPECCIÓN Y PROPUESTAS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MUELLES PORTUARIOS - CASO REGIÓN ANCASH PERÚ</p>	<p>Yoji Hobberg Ávila Mezarino</p>	<p>Ávila, Y. indica que frecuentemente las estructuras de concreto armado, expuestas a ambiente marino, denotan degradación a consecuencia de la presencia de cloruros (corrosión en el refuerzo). Algunas veces, dicha degradación, años después de la construcción de la estructura, es visible.</p> <p>También señala que existen otros factores que alteran la estructura, como es la mala calidad de construcción por ausencia de especializada mano de obra, deficiencia en normativas, falta de información de algunos parámetros influyentes en el desarrollo de la degradación.</p> <p>La gran mayoría de muelles portuarios de la región de Ancash presentan patologías a causa de la ubicación, entorno agresivo altamente, adicional a ello, se denota la falta de mantenimiento y antigüedad de las mismas.</p>

IV. CONCLUSIONES

- Existe desconocimiento de normas establecidas de construcción en condiciones ambientales desfavorables, los cuales provocan daños estructurales.
- Es de gran importancia tener en cuenta las causas del origen de estructuras afectadas por corrosión, así como su desarrollo, con la finalidad de extender el tiempo de vida útil de gran número de proyectos, pues de lo contrario habrá consecuencias económicas significativas.
- Mediante las fichas de inspección visual no – destructivos, se puede identificar los problemas de deterioro en las estructuras de concreto armado, donde la corrosión es la más frecuente.
- Donde se requiera calcular la durabilidad de estructuras de concreto armado que se encuentran afectadas por corrosión de armaduras, se deben considerar los factores que provocaron un problema (carbonatación y cloruros), así como fijar un ritmo de deterioro en aquella a través de constantes mediciones de velocidad de corrosión. Gracias a estos estudios, se puede realizar actividades de reparación o mantenimiento, en la medida en que se pueda recomendar una implementación.
- Cuando se utilizan concretos densos de permeabilidad baja, la relación agua cemento es baja, lo cual es indicador de una resistencia alta. Actualmente es recomendable que dicha relación en concretos que se encuentran expuestos no debe ser mayor de 0.50, es decir, resistencias no menores de 245 kg/cm², en obras que están cerca al mar o dentro de él, la resistencia mínima que se establece es de 280 kg/cm².
- Es de suma importancia tener en cuenta las medidas preventivas para no correr riesgos con la corrosión de armaduras. Existen métodos principales de protección y control de corrosión, los cuales se eliminan algunos de los cuatro elementos que forman una celda de corrosión: cátodo, ánodo, conductor electrónico y conductor iónico.

V. RECOMENDACIONES

- Es conveniente emprender cursos de mantenimiento de estructuras tanto en universidades como en otros centros de estudios para mantener una cultura de supervisión continua y evitar futuros daños.
- Se debe tener cuidado, en construcciones estructuras futuras con los procesos de construcción para producir concreto. Una gran cantidad del daño del óxido es indicador de la existencia de cloruros en la atmósfera.
- En cuanto a la toma de datos en fichas de inspección, esto debe hacerse con mucha cautela para no equivocarnos al momento de presentar los resultados.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Sánchez de Guzmán, Durabilidad y Patología del concreto, Bogotá: Asocreto, 2011.
- [2] A. Montejo Fonseca, F. Montejo Pirotova y A. Montejo Pirotova, Tecnología y patología del concreto armado, Bogotá: Univerdiad Católica de Colombia , 2013.
- [3] R. Solís Carcaño, É. I. Moreno y P. Castro Borges, «Durabilidad en la estructura de concreto de vivienda en zona costera,» enero-abril 2005. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46790102.pdf>. [Último acceso: 30 octubre 2019].
- [4] N. Tadeu Mascia y A. Lenz Sartorti, «Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales,» 2011. [En línea]. Available: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732011000100001. [Último acceso: 30 octubre 2019].
- [5] J. A. Devoto Patiño, «“INFLUENCIA DE LAS PATOLOGIAS EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO DE EDIFICACIONES EN ZONAS CERCANAS AL MAR EN LA CIUDAD DE PAITA – PIURA 2015”,» 2015. [En línea]. Available: http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/3799/EDIFICACIONES_CONCRETO_ARMADO_DEVOTO_PATINO_JORGE_ANTONIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 24 octubre 2019].

- [6] D. Escalante, «Durabilidad del concreto armado en viviendas de zonas costeras por acción del medio ambiente en la conurbación Barcelona, Lechería, Puerto la Cruz y Guanta del Estado Anzoátegui,» 2010. [En línea]. Available: <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/2580/1/20-TESISIC010E40.pdf>. [Último acceso: 18 noviembre 2019].
- [7] J. Domínguez Gutiérrez y A. González Pajaro, «Valoración técnica del deterioro de las edificaciones en la zona costera de Santa Fe,» 2015. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982015000100005. [Último acceso: 17 noviembre 2019].
- [8] C. E. Cruz Tafur , «EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE EDIFICACIONES DE HASTA 3 NIVELES EXPUESTAS A AMBIENTE MARINO DE LA CIUDAD DE PIMENTEL, CHICLAYO,» Chiclayo, 2017.
- [9] Y. H. Ávila Mezarino, «Patologías, inspección y propuestas de reparación de estructuras de muelles portuarios - Caso Región Ancash Perú,» 2011. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/12697>. [Último acceso: 16 noviembre 2019].
- [10] A. J. Bejarano Acosta y J. D. Deza Moreno, «DIAGNÓSTICO DE LAS PATOLOGÍAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS PRESENTES EN LOS PUENTES PEATONALES DE LA LOCALIDAD DE,» 2017. [En línea]. Available: <file:///D:/Users/Eduardo%20Avellaneda/Downloads/DIAGNÓSTICO%20DE%20LAS%20PATOLOGÍAS%20FÍSICAS,%20QUÍMICAS%20Y%20MECÁNICAS%20PRESENTES%20EN%20LOS%20PUENTES%20PEATONALES%20DE%20LA%20LOCALIDAD%20DE%20ENGATIVÁ%20EN%20BOGOTÁ%20D.C..pdf>. [Último acceso: 24 octubre 2019].
- [11] E. M. Bermeo Herreros, «DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO EN EL CERCO PERIMÉTRICO DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°14795 DEL DISTRITO DE BELLAVISTA, PROVINCIA DE SULLANA, REGION PIURA, MARZO-2017,» 2017. [En línea]. Available: http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/2470/PATOLOGIAS_PATOLOGIAS_DEL_CONCRETO_BERMEO_HERREROS_EL_VER_MANUEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 31 octubre 2019].
- [12] Geocisa y CSIC, «Manual de evaluación para estructuras afectadas por la corrosión de la armadura,» [En línea]. Available:

http://nol.infocentre.es/ictnol/pdf/manual_espa.pdf. [Último acceso: 31 octubre 2019].

- [13] E. Rivva López, Ataques al concreto, Lima: ICG, 2014.
- [14] Ministerio de fomento, «EHE 08 versión en castellano,» 18 julio 2008. [En línea]. Available: <https://www.fomento.gob.es/organos-colegiados/mas-organos-colegiados/comision-permanente-del-hormigon/cph/instrucciones/ehe-08-version-en-castellano>. [Último acceso: 31 octubre 2019].
- [15] I. Diaz Tang, G. Quesada Incháustegui y E. Pasquel Carbajal, Diagnóstico y reparación de estructuras de concreto armado atacadas por corrosión., Lima: Capítulo Peruano ACI, 2002.
- [16] INDECOPI, Cementos. Cementos Portland adicionados. Requisitos NTP 334.090-2013, Lima, 2013.
- [17] c. y. s. Ministerio de vivienda, Reglamento nacional de edificaciones. Norma E.060, Lima: Megabyte, 2019.
- [18] «ASTM Designación: C 876 – 91,» [En línea]. Available: <http://ingenieriasalva.blogspot.com/2009/04/astm-designacion-c-876-91.html>. [Último acceso: 31 octubre 2019].