

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**INVESTIGACIÓN DEL EFECTO DE LA CORROSIÓN DEL
ACERO EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO**

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

AUTOR

MARIAN ISABELA ALAS ROJAS

ASESOR

HÉCTOR AUGUSTO GAMARRA UCEDA

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

Chiclayo, 2019

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	MARCO TEORICO:	3
2.1.	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	3
2.1.1.	Antecedente 1.....	3
2.1.2.	Antecedente 2.....	3
2.1.3.	Antecedente 3.....	5
2.1.4.	Antecedente 4.....	5
2.1.5.	Antecedente 5.....	6
2.1.6.	Antecedente 6.....	6
2.1.7.	Antecedente 7.....	7
2.2.	BASES TEÓRICO-CIENTÍFICAS.....	8
2.2.1.	Corrosión del Acero de Refuerzo	8
2.2.1.1.	Corrosión en el Concreto Armado	8
2.2.2.	Mecanismos de Corrosión	9
2.2.2.1.	Cloruros.....	9
2.2.2.2.	Carbonatación	9
2.2.3.	Tipos de Corrosión.....	10
2.2.3.1.	Corrosión Uniforme – Generalizada.....	10
2.2.3.2.	Corrosión Galvánica o Bimetálica.....	10
2.2.3.3.	Corrosión Localizada.....	10
2.2.4.	Vida Útil.....	13
2.2.4.1.	Estimación de Vida Útil.....	13
III.	OBJETIVOS	14
3.1.	OBJETIVO GENERAL	14
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
4.1.	TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS 14	
4.2.	HIPÓTESIS	14
4.3.	VARIABLES - OPERACIONALIZACIÓN.....	14
4.4.	POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO.....	15
4.5.	MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	16
4.6.	PROCESAMIENTO PARA ANÁLISIS DE DATOS	16

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
VI. CONCLUSIONES.....	20
VII. RECOMENDACIONES	21
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	22
Referencias.....	22
IX. ANEXOS	24
Anexo 01.....	24

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Elementos que conforman la Celda Electroquímica.....	8
Ilustración 2. Mecanismo de Corrosión por Picadura de la Armadura.....	11
Ilustración 3. Corrosión por Espacios Confinados	12
Ilustración 4. Corrosión bajo tensión.....	12

RESUMEN

La presente investigación se centra en el estudio del efecto de la corrosión del acero en estructuras de concreto armado, teniendo en cuenta la actual problemática del deterioro del concreto causado por dicho fenómeno, lo que afecta inmediatamente a las propiedades estructurales de la edificación, pudiendo provocar graves daños y pérdidas de vidas humanas. El objetivo principal de este estudio es conocer el efecto de la corrosión del acero en estructuras de concreto armado, el cual se podrá alcanzar a través de sus objetivos específicos, los cuales son identificar las principales manifestaciones que produce el fenómeno de la corrosión y conocer el efecto de la corrosión del acero en la vida útil de las estructuras de concreto armado. Para esto se realizó una detallada revisión bibliográfica, y con ayudas de fichas de análisis, se tomaron los datos necesarios. Dichos datos fueron procesados y analizados posteriormente con ayuda de gráficos y tablas para poder organizar con mayor facilidad la información. Podemos concluir que los principales efectos en estructuras de concreto armado por la corrosión del acero son la reducción de la sección, pérdida de resistencia mecánica, pérdida de adherencia entre el concreto y el acero, aparición de fisuras y desprendimiento del recubrimiento. La corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto armado reduce el tiempo de vida útil de las mismas

PALABRAS CLAVE: Corrosión del acero, Estructuras de Concreto Armado, Vida Útil.

ABSTRACT

This research focuses on the study of the effect of corrosion of steel in reinforced concrete structures, taking into account the current problem of deterioration of concrete caused by this phenomenon, which immediately affects the structural properties of the building, and can cause serious damage and loss of human life. The main objective of this study is to know the effect of corrosion of steel in reinforced concrete structures, which can be achieved through its specific objectives, which are to identify the main manifestations produced by the phenomenon of corrosion and to know the Corrosion effect of steel on the useful life of reinforced concrete structures. For this, a detailed bibliographic review was carried out, and with the help of analysis sheets, the necessary data were taken. These data were subsequently processed and analyzed with the help of graphs and tables to be able to organize the information more easily. We can conclude that the main effects on concrete structures reinforced by the corrosion of steel are the reduction of the section, loss of mechanical resistance, loss of adhesion between the concrete and the steel, appearance of cracks and shedding of the coating. Corrosion of reinforcing steel in reinforced concrete structures reduces their lifetime.

KEYWORDS: Corrosion of steel, Reinforced Concrete Structures, Useful Life.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el concreto armado es uno de los materiales que cuenta con mayor demanda en la industria de la construcción a nivel nacional e internacional, gracias a los beneficios que este ofrece, como versatilidad, resistencia, durabilidad y costo relativamente bajo. Sin embargo, aunque mundialmente se han podido obtener importantes mejoras sobre este material, las construcciones de concreto armado aún presentan daños, tanto leves como severos, que perjudican considerablemente su desempeño y durabilidad.

La meta de los ingenieros civiles en la construcción es poder realizar y entregar un producto de alta calidad, que garantice la durabilidad y funcionalidad del mismo, durante un determinado periodo de tiempo, además de velar por la seguridad de los beneficiados. Por otro lado, existen agentes o fenómenos que impiden alcanzar las condiciones esperadas de una construcción, y a contrario a estas, aceleran el proceso de deterioro del concreto armado con el paso del tiempo.

Del Valle Moreno [2] afirma que el deterioro de las estructuras de concreto reforzado ha sido un tema de gran relevancia para la industria de la construcción en los últimos años. Se calcula un costo de 300,000 millones de dólares por fallas en la infraestructura en los Estados Unidos de América.

Cuando las estructuras de concreto armado empiezan a degradarse y deteriorarse de manera prematura, es decir, antes del tiempo estimado, están dejando de cumplir con la vida útil calculada en el diseño del proyecto, generando inesperadamente un mayor gasto económico, pues la construcción requerirá de mantenimiento y reparaciones. Dicha vida útil, fija que, dentro de un determinado periodo de tiempo, la estructura cumplirá con todos los requerimientos necesarios para desarrollar un correcto desempeño, sin necesidad de realizar importantes intervenciones.

Según Sánchez de Guzmán [3] lo anterior no implica necesariamente que, al cumplirse el periodo de vida en servicio, la estructura deba ser demolida; sino que el costo de su mantenimiento para garantizar las condiciones originales hacia el futuro, es probable que se incremente por encima del que se considera apropiado durante la vida prevista en proyecto.

Uno de los principales y más comunes agentes que afecta potencialmente a las estructuras de concreto armado, disminuyendo la vida útil, es la corrosión del acero de refuerzo, ya que esta actúa inmediatamente sobre el acero, concreto y su relación de adherencia;

generando una serie de eventos que perjudican y degradan progresivamente a la estructura, como la pérdida de sección, pérdida de resistencia, fisuración y agrietamiento. Según Cerna Vásquez y Galicia Guarniz [4] en la actualidad se reporta un número cada día creciente de estructuras prematuramente deterioradas por corrosión del acero de refuerzo.

El efecto de la corrosión sobre el concreto armado genera consecuencias a nivel mundial. Se puede estimar que 287500 puentes ubicados en Estados Unidos se encuentran gravemente deteriorados por el fenómeno de la corrosión. Por otro lado, en el país de Brasil se realizó una detallada investigación, estudiando 1512 construcciones, donde los resultados determinaron que la corrosión por el acero de refuerzo representa el 40% del total de las patologías. En dicho país también se obtuvieron datos sobre el principal motivo del deterioro en estructuras expuestas a ambientes marinos, el cual fue la corrosión de la armadura, presentándose en 20 y 58% de las muestras estudiadas. [5]

Al corroerse el acero se hace más voluminoso debido a los productos de la corrosión, lo que genera tensiones sobre el concreto circundante y provocan su agrietamiento y fragmentación. Cuando esto sucede, la capacidad estructural del elemento se ve amenazada y es necesario hacer reparaciones costosas para recuperarlo. [6]

Es por esto que resulta importante realizar la pregunta de investigación ¿De qué manera afecta la corrosión del acero a la vida útil de las estructuras de concreto armado?

La iniciativa de la elección y desarrollo de este tema surge ante la crítica realidad en la que se encuentran diversas estructuras de concreto armado afectadas por corrosión.

Esta investigación pretende aportar conocimientos existentes, para entender y conocer más sobre el efecto de la corrosión del acero en las estructuras de concreto armado, y así tratar de evitar la degradación de dichas construcciones, tomando las precauciones del caso, con el fin de velar por la integridad y salud física de todas las personas que asisten diariamente a las diversas instalaciones.

Las infraestructuras de concreto reforzado actualmente están sufriendo un deterioro acelerado; en muchos casos sin haber cumplido con la vida útil para la cual fue diseñada. Es por ello que resulta necesario calcular tanto el tiempo en que pueden llegar a un riesgo de falla, así como decidir el momento óptimo para iniciar su rehabilitación. [7].

La presente investigación resulta conveniente ya que, gracias a la información recopilada, se tendrá conocimiento de las diversas manifestaciones y efectos del fenómeno de la

corrosión, lo que contribuirá a que se tome mayor importancia a la prevención y mantenimiento de estructuras afectadas por este proceso, ya que, de lo contrario, se pueden producir grandes pérdidas.

II. MARCO TEORICO:

2.1.ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. Antecedente 1

Pérez [8], realizó la tesis de maestría: “*Vida útil residual de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión*”, en la Universidad Politécnica de Madrid. En la investigación se tomó como problemática la influencia de la corrosión del acero en la degradación del sistema de concreto armado, pretendiendo abarcar de manera general el proceso de corrosión y su efecto inmediato sobre la vida útil de las construcciones. Para poder ofrecer un diagnóstico se siguió un proceso de inspección, el cual consiste en el reconocimiento de la estructura, ya sea por método simplificado o por método detallado, obteniendo datos necesarios para poder evaluar la estructura. Posteriormente procesar dichos datos en oficina y finalmente realizar ensayos in situ. Por otro lado, para poder estimar la vida útil de las estructuras estudiadas, se recurrió al método semi-probabilista que presenta la Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE). Por último, se concluye que para poder estimar el grado e intensidad de corrosión que una estructura de concreto armado posee se deben seguir etapas como: inspección preliminar, ensayos in situ y de laboratorio, tomas de muestra, etc.

2.1.2. Antecedente 2

Ortega y Robles [9] realizaron el trabajo de investigación “*Assessment of Residual Life of concrete structures affected by reinforcement corrosion*”, o en español “*Evaluación de la vida residual de estructuras de concreto afectadas por la corrosión del refuerzo*”, presentada en la Universidad Nacional del Sur, Argentina, donde escriben que el proceso del fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto armado, que se encuentran expuestas a ambientes marinos o industriales, pueden originar la aparición de grietas, produciendo así el deterioro y degradación de las propiedades fundamentales del material, fragilizando y disminuyendo la sección de las varillas de refuerzo. Como consecuencia de esto, aparecen también grandes posibilidades de eventuales fallas o incluso colapsos, que podría tener grandes impactos para la seguridad y economía de las personas, ya que el comportamiento estructural de la estructura se ve afectado por la

reducción del acero de refuerzo, pérdida de adhesión entre el acero y el concreto, agrietamiento, etc. Ante esto, los autores consideran importante realizar ensayos no destructivos a las estructuras de concreto armado para poder evaluar el nivel del daño estructural y el estado del deterioro en el que se encuentran, tomando en cuenta la penetración de cloruros y/o carbonatación, ya que, al producirse el inicio de la corrosión por dichos factores, se alteraría el periodo de vida útil de la estructura. Según los resultados obtenidos del nivel de daño y el periodo de vida útil residual, se decidirá si la estructura deberá ser reparada o si se debe poner fuera de servicio. Para poder obtener dichos datos, Ortega y Robles presentan una metodología numérica-experimental para poder estimar la vida residual de una estructura de concreto armado, el cual está basado en ensayos de laboratorio de elementos estructurales. En primer lugar, se realizaron prototipos de vigas de distintos tipos de concreto que reúnen características similares a las de los concretos de estructuras que se encuentran hoy en día inactivas por incumplimiento de los estándares prescritos. Se ensayaron dos tipos de especímenes diferenciados en la forma de la probeta (de sección rectangular y cilíndrica), con varillas de acero de diámetro nominal de 4.2 mm y estribos de 2.1 mm, contando con un recubrimiento de 10 mm. Las probetas de sección rectangular fueron sometidas a un proceso de corrosión acelerada, mientras que las cilíndricas se utilizaron en pruebas de permeabilidad y resistencia mecánica. Se establecieron condiciones de temperatura y humedad específicas en el laboratorio. Para poder realizar el método de corrosión acelerada se aplicaron parámetros como intensidad de corrosión, con un valor de 100 mA/cm², el cual representa 10 veces al máximo valor estándar de intensidad de corrosión en estructuras contaminadas por cloruros. Se midió la relación entre las propiedades del recubrimiento del concreto y el deterioro del mismo, como efecto de la corrosión del acero, esta relación fue llamada frecuencia natural. Los resultados obtenidos fueron que la sección del acero longitudinal se redujo en un 16%, las medidas de las áreas de fisuración al final del estudio se encontraban en un rango de 40 a 200 mm². Además, mediante gráficos, se muestra el avance del proceso de la corrosión con relación a la frecuencia natural. Con los resultados obtenidos en los ensayos, se plantea una ecuación para poder determinar la vida residual de una estructura de concreto armado afectada por corrosión, ya sea por carbonatación o por cloruros. Finalmente se concluye que es realmente importante determinar la vida residual de una estructura mediante técnicas no destructivas.

2.1.3. Antecedente 3

Tahershamsi [10] en su investigación *“Structural Effects of Reinforcement Corrosion in Concrete Structures”*, realizada en la Universidad Tecnológica de Chalmers, Suecia expone que el deterioro del concreto en estructuras reforzadas es un creciente problema a nivel mundial, y que a pesar de las extensas investigaciones que se han realizado sobre la degradación de este material, son limitados los estudios que se centran en el efecto de la corrosión del acero de refuerzo a través del tiempo, lo que produce principalmente la degradación de la capacidad estructural de las construcciones afectadas por corrosión durante su vida útil, manifestándose mediante el agrietamiento y desprendimiento del recubrimiento, reducción del área del acero de refuerzo y la pérdida de adherencia entre el concreto y el acero corroído. El enfoque metodológico de esta tesis se basó en experimentos y observaciones para poder determinar el efecto de la corrosión del acero sobre la capacidad de carga restante en las estructuras de concreto armado. El autor tomó muestras de la viga de un puente de concreto armado expuesto al ambiente corrosivo, que cuenta con 32 años de antigüedad, y a través de mediciones de cargas y pruebas a flexión. Para medir los niveles de corrosión se utilizó el método de peso gravimétrico y el método de escaneo 3D. Se obtuvieron resultados correspondientes a los anchos de grietas, desprendimientos.

2.1.4. Antecedente 4

Cerna y Galicia [4], realizaron la investigación: *“Vida útil en estructuras de concreto armado desde el punto de vista de comportamiento del material”*, en la Universidad Privada Antenor Orrego. En ella evaluaron las consecuencias resultantes del proceso de corrosión, contando con la aplicación de una minuciosa metodología para poder obtener resultados reales que determinen las causas de la corrosión. Además, resaltan la influencia de un adecuado y cuidadoso proceso de evaluación, ya que si se realizan los ensayos de forma inadecuada y sin un método correcto, podría afectar gravemente a la estructura, reduciendo aun más la durabilidad. Para esta investigación, se utilizó una ficha de Inspección Visual General de la Estructura, registrándose datos como la edad de antigüedad de la construcción y tomando apuntes de los daños visibles en todos los elementos estructurales apoyándose con un croquis, complementando la información recopilada con fotos. Los resultados obtenidos determinaron que:

Los daños que predominan en las zonas estudiadas fueron grietas o fisuras, eflorescencia acero oxidado, manchas de humedad, protuberancia de concreto, concreto con

cangrejeras. La existencia de corrosión en el acero que predominan en las zonas estudiadas fue: presencia de óxido predomina en un 20%, presencia de corrosión predomina en un 20%, presencia grave de corrosión en un 33.33%.

Se llegó a la conclusión de que los efectos de la corrosión sobre el acero de refuerzo consisten en la pérdida de la sección y disminución de su resistencia mecánica. Los efectos de la corrosión sobre el concreto consiste en manchas, grietas y desprendimientos o deslaminaciones en la superficie. Estos efectos condicionan la durabilidad de una estructura de concreto armado. [4]

2.1.5. Antecedente 5

Machena [11], en su tesis titulada “Estructuras de concreto y corrosión del acero corrugado en la I.E. Niño Jesús de Praga distrito de SMP 2017”, desarrollada en la Universidad César Vallejo de Lima, busca determinar cómo las estructuras de concreto se ven afectadas por la corrosión del acero corrugado. Ante esto, pretende explicar los factores por los que se produce la degradación de la estructura por corrosión en el acero corrugado. Para ello, empezó evaluando las condiciones ambientales que afectan a las estructuras de concreto, posteriormente realizará un análisis de las fisuras que afecta a la infraestructura de dicho colegio; y además, estudiará la carbonatación que la afecta. En cuanto a la metodología del desarrollo de la investigación, primero realizó una descripción de la zona de estudio, para así, posteriormente, recopilar información y realizar trabajos de campo.

2.1.6. Antecedente 6

Devoto [6] realizó la tesis de pregrado titulada “Influencia de las patologías en la durabilidad del concreto armado de edificaciones en zonas cercanas al mar en la ciudad de Paita – Piura 2015”, presentada en la Universidad Católica los Ángeles de Chimbote, en donde la problemática de la investigación se centra en el deterioro del concreto armado a nivel químico y las fallas que se producen en la estructura producto de los elevados contenidos de humedad y salinidad del entorno, condiciones que permiten el origen y disipación la corrosión del acero de refuerzo. El autor plantea como problema de investigación la influencia de la evaluación de las patologías en la durabilidad del concreto armado en 10 viviendas de Paita, muelle fiscal de Paita y puente peatonal. Ante lo anterior, Devoto propone identificar, evaluar y determinar las principales patologías presentes en las viviendas seleccionadas, además de ayudar formulando recomendaciones para poder realizar mantenimientos o rehabilitación. Para lograr alcanzar los objetivos

propios de la tesis, el autor define una metodología precisa que consiste en tres fases de investigación. La primera de ellas se centra en los trabajos preliminares, como recolección de antecedentes, sondeos, delimitación de la muestra, formulación de fichas técnicas a usar. La segunda fase es la inspección visual, donde se podrán identificar las diversas manifestaciones del deterioro del concreto armado, para clasificarlos según el grado de severidad; para finalizar esta fase, se realizarán las respectivas mediciones de los parámetros escogidos. La fase final de la investigación es el procesamiento y análisis de datos. Durante la inspección se encontraron daños como desprendimiento del agregado, grietas, etc. En las columnas se presentaron un 50% de daños leves, mientras que un 5% pertenecía a daños fuertes. En cuanto a las vigas, estas presentan un 50% de daños leves y un 15% de daños fuertes. Finalmente, en las losas se encontró un 50% de daño fuertes, mientras que el 50% restante se divide en 25% de daños leves y 25% de daños moderados. El autor concluye que, las principales patologías encontradas en las viviendas estudiadas fueron carbonatación, corrosión y disolución de la pasta del concreto, lo que conlleva a la aparición de defectos estructurales. También menciona que la corrosión es la principal causa del deterioro del concreto armado, perjudicando económicamente a las personas. Finalmente recomienda que, si se desea estimar la durabilidad de la construcción, debe tomarse en cuenta los procesos de carbonatación y cloruros, así como estimar la velocidad de corrosión de la misma.

2.1.7. Antecedente 7

Molina [12] en su tesis de pregrado: “Monitoreo y Diagnóstico de Estructuras de Concreto Armado afectadas por Corrosión de Cloruros”, desarrollada en la Universidad Nacional de Ingeniería, estudia el deterioro del concreto armado por la corrosión electroquímica del acero en las armaduras, donde, se menciona que podemos encontrar una gran variedad de dispositivos especializados en determinar los parámetros electroquímicos más importantes del fenómeno de la corrosión del acero. Dentro de este grupo de dispositivos podemos encontrar al “Concrete Corrosin Mapping System”, el cual podrá brindarnos información sobre el estado superficial de la armadura, determinando si esta se encuentra en un estado activo o pasivo de corrosión. En esta investigación monitorearon los elementos de concreto armado correspondientes a una cimentación, los cuales fueron sistema platea y vigas de cimentación. Después de la evaluación, se concluyó que existe un moderado daño ya que el fenómeno de la corrosión ha empezado, y además, el tiempo de vida residual de los elementos estudiados es aproximadamente de 10 años.

2.2. BASES TEÓRICO-CIENTÍFICAS

2.2.1. Corrosión del Acero de Refuerzo

2.2.1.1. Corrosión en el Concreto Armado

Podemos entender por corrosión a la interacción destructiva que se produce entre elementos metálicos con un medio determinado, ya sea por ataque químico o electroquímico con dicho entorno. Este fenómeno producirá efectos negativos en las propiedades físicas y químicas de los metales en cuestión.

De esta manera, la corrosión del refuerzo del concreto es un proceso electroquímico, ya que se produce una reacción química acompañada de una transferencia de electrones. Este fenómeno se da como consecuencia de la diferencia del contenido de iones disueltos en la superficie del acero de refuerzo, los cuales generan áreas de distintos niveles de energía, formando así una celda electroquímica, cuyos principales componentes son:

- Ánodo: Es la zona de la superficie de la armadura donde se produce la oxidación de reducción, se da una pérdida de electrones y la corriente iónica se dirige hacia el electrolito
- Cátodo: Zona de la superficie de la armadura donde se presenta la reacción de la reducción y la corriente iónica entra al metal. Se toman los electrones liberados en la zona anódica y se mezclan con ciertos iones presentes en el electrolito.
- Conductor Metálico: Conduce los electrones desde la zona anódica hacia la zona catódica.
- Electrolito: Conduce la corriente eléctrica mediante un flujo de iones. En este caso, el concreto es el material que cumple la función de electrolito.

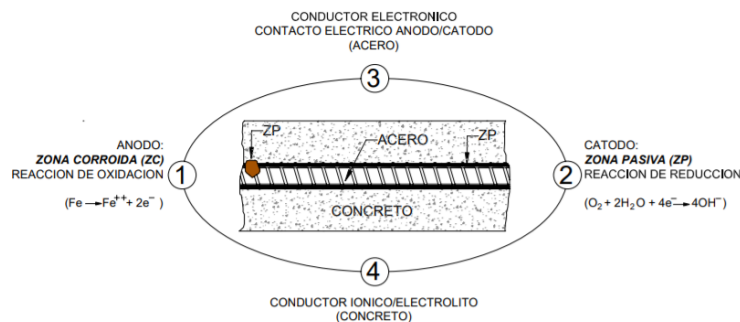


Ilustración 1. Elementos que conforman la Celda Electroquímica

Fuente: [5]

Las variaciones en las condiciones de servicio se dan principalmente cuando se presentan desigualdades en el acero de refuerzo, por ejemplo, distintos aceros, soldaduras, zonas activas sobre la superficie del mismo, interacción con otros metales y desigualdades y alteraciones químicas y físicas que puede sufrir el concreto, como cambios en el pH, humedad, etc.

Es así que, para que exista corrosión, es necesario que se de una reacción anódica, donde el acero pueda disolverse, liberando electrones; y una reacción catódica, que retenga los electrones liberados. Es determinante también que se encuentre presente una determinada concentración de oxígeno y humedad en el concreto

2.2.2. Mecanismos de Corrosión

La protección del acero del concreto está condicionada a la existencia de la capa pasivadora en un medio alcalino. En este estado, se puede decir que el acero se encuentra pasivado a pesar de que en el ambiente se presenten agentes de corrosión. Sin embargo, se pueden presentar mecanismos que ayudan a la iniciación y expansión de la corrosión del acero, los cuales son:

2.2.2.1. Cloruros

Los cloruros se presentan en el concreto mediante dos formas distintas. Durante el proceso de mezcla del concreto, teniendo como fuente principal los aditivos, agua, áridos y cemento, donde los cloruros pueden mezclarse químicamente con el material cementante, los cuales normalmente se distribuyen uniformemente evitando crear la llamada celda electroquímica. Otra forma en la que el cloruro llega al concreto se da después del proceso de fraguado; aquí el cloruro tiende a incorporarse desde el exterior gracias a agentes ambientales, como por ejemplo sales fúndentes y ambiente marino en general. Los cloruros que se encuentran en la superficie pueden ser conducidos hacia la armadura gracias al agua que se encuentra en los poros del concreto, cuando esto sucede, la concentración de cloruros alrededor de las armaduras no es homogénea debido a que una zona de la armadura se encuentra en contacto con un concreto contaminado y la otra zona, con un concreto sin cloruros, creando una celda electroquímica. Se sabe también que a mayor profundidad de penetración, menor es el contenido de cloruros.

2.2.2.2. Carbonatación

El CO₂ que se encuentra en la atmósfera puede ingresar fácilmente al interior del concreto, debido a que este es un material permeable; posteriormente el dióxido de carbono, al mezclarse con la humedad en el concreto, tiende a disolverse la solución

alcalina y presenta una reacción con iones calcio (Ca^{++}), transformando el hidróxido de calcio con pH alto a carbonato de calcio, pero con un pH más neutral. El desarrollo del proceso de carbonatación está ligado a factores como el contenido de humedad en el concreto, porosidad y concentración de alcalinos carbonatables, siendo la humedad la más determinante. Si los poros del concreto se encuentran totalmente vacíos, en ausencia de agua, el CO_2 podrá disiparse de manera sencilla en el concreto, sin embargo, no será posible la existencia de una reacción. Por otro lado, si los poros se encuentran totalmente saturados de agua, podemos decir que existe una ligera carbonatación, ya que el agua no es un medio totalmente efectivo para solubilizar el CO_2 . Sin embargo, cuando los poros se encuentran llenos de una manera parcial, se establecen buenas condiciones para que la carbonatación pueda iniciarse.

2.2.3. Tipos de Corrosión

2.2.3.1. Corrosión Uniforme – Generalizada

Este modelo de corrosión se da a partir de la destrucción general de la capa pasivadora, que se produce gracias a los mecanismos de corrosión anteriormente vistos, además de la lixiviación de la pasta de cemento que forma el concreto, por la reacción con aguas puras o levemente ácidas. La corrosión uniforme tiende a disiparse sobre la superficie completa del acero de una manera homogénea, lo que hace que la sección del refuerzo disminuya de una manera pareja. Se puede decir que este tipo de corrosión es la menos perjudicial, ya que posibilita la determinación de la vida útil con una inspección simple.

2.2.3.2. Corrosión Galvánica o Bimetálica

La corrosión galvánica se produce en los casos donde se presentan dos metales diferentes que interactúan en el mismo medio electrolítico, produciéndose un diferencial de potencial eléctrico, el cual influye en el flujo de la corriente eléctrica por un agente corrosivo. De esta manera el flujo de corriente corroerá solo uno de los metales del par formado, permaneciendo el otro metal sin alteraciones [12]. Cuando la capa pasivadora no se forme o se lesione alguna zona de la armadura, esta se convertirá en una zona anódica, mientras que la superficie que sí se encuentra protegida con la película pasivadora actuará como la zona catódica.

2.2.3.3. Corrosión Localizada

La corrosión localizada, a diferencia de la corrosión generalizada, tiene influencia solo en zonas específicas de la superficie de la armadura. Este tipo de corrosión ocurre frecuentemente en superficies donde el acero de refuerzo se encuentra en contacto con

revestimientos epóxicos, ya que la adherencia entre ambos se ha perdido. Por otro lado, en el caso de presentarse iones cloruros, estos pueden aglomerarse en las zonas que se encuentran entre el recubrimiento y el acero, iniciando una corrosión localizada.

a) Corrosión Localizada por Picaduras

La corrosión por picaduras se da cuando la capa pasivadora se ve afectada o destruida en determinados puntos del acero de refuerzo, debido a la diferente composición entre metales, heterogeneidad y además, por la incorporación de iones cloruros.

Las picaduras se forman por la disolución localizada de la película pasiva típicamente resultan del ingreso de iones cloruro al medio, bien sea porque provienen del medio exterior o porque fueron incorporados en la masa de hormigón. [5]

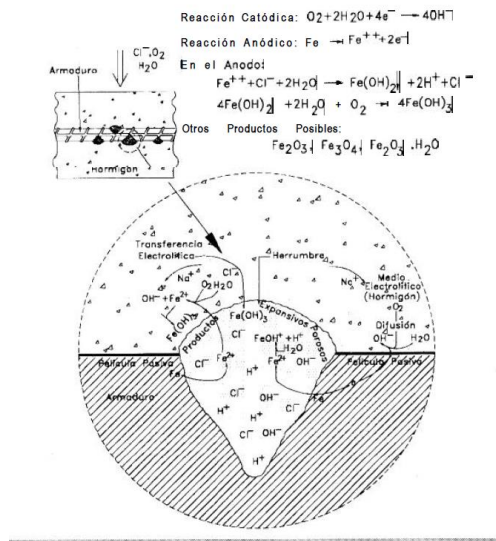


Ilustración 2. Mecanismo de Corrosión por Picadura de la Armadura

Fuente: [5]

En tipo de corrosión, primero se forman orificios para que posteriormente se forme la celda electroquímica, en donde la zona anódica será la picadura, donde se produce la disolución del acero; mientras que la zona catódica será aquella donde las condiciones y propiedades de la capa pasivante se encuentran intactas, donde el oxígeno disminuye.

La corrosión por picaduras puede ser denominada como la más importante, ya que al ser autocatalíticas, establecen un propio medio con características óptimas para que se sigan desarrollando. Por otro lado, estas se producen de manera lenta, siendo visibles hasta después de meses o años desde que haya comenzado. Además, son sumamente difíciles de encontrar, originando fallos inesperados

b) Corrosión Localizada por Espacios Confinados

Se produce generalmente cuando la superficie de la armadura se encuentra totalmente protegida, de manera que se no se permita el paso del oxígeno, lo que genera la creación de celdas de oxígeno diferenciales que provocan la corrosión del acero. Uno de los casos más comunes de este tipo de corrosión se da cuando se inyecta material epóxico en las grietas, produciéndose una zona con acceso restringido al oxígeno, desatándose la corrosión.

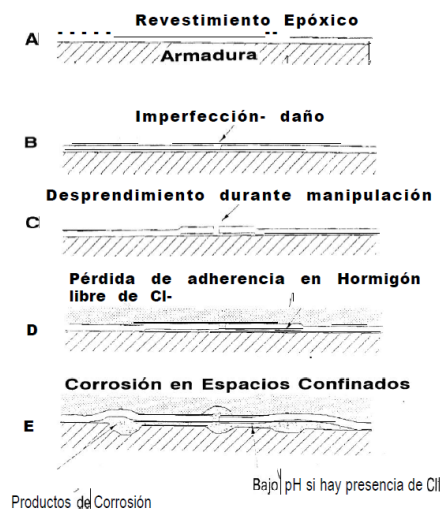


Ilustración 3. Corrosión por Espacios Confinados

Fuente [5]

c) Corrosión Localizada Bajo Tensión

En un inicio, se agrupan partículas sobre la superficie de la armadura, que buscan ocupar los espacios en los poros, aumentando su volumen de manera considerable, ejerciendo presiones en el recubrimiento y así, provocando fisuras ya que falla por resistencia a la tracción del concreto. Dichas fisuras, se disipan a lo largo de la armadura de acero, lo que podría producir en un futuro que la armadura falle.

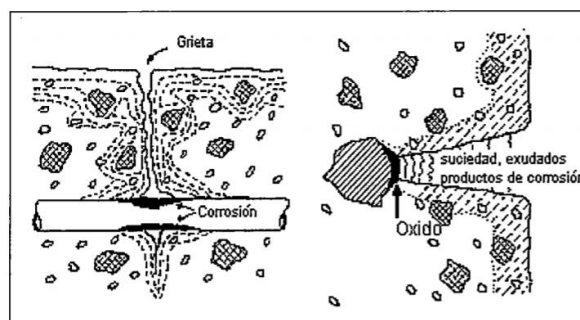


Ilustración 4. Corrosión bajo tensión

Fuente: [12]

d) Corrosión Localizada por Corrientes de Interferencia

Son aquellas que fluyen en un estructura, pero que no son constituyentes del circuito electroquímico. Se produce cuando da la interacción de corriente entre una estructuras metálicas y un electrolito. Los factores que permiten el desarrollo de este tipo de corrosión podemos encontrar a: los ánodos, máquinas de soldar y corrientes telúricas.

2.2.4. Vida Útil

Podemos decir que la vida útil es el lapso de tiempo donde la estructura de concreto armado mantiene las características de seguridad, funcionalidad y estética, establecidas al inicio del proyecto, sin gastos de mantenimiento o reparaciones adicionales, es así que cuando la estructura presenta alguna deficiencia con respecto a los parámetros dados, quiere decir que ya no se encuentra dentro del periodo de su vida útil.

2.2.4.1. Estimación de Vida Útil

La estimación de la vida útil resulta significativamente importante, ya que gracias a ese dato podemos tomar medidas de reparación en las estructuras de concreto armado, para garantizar el bienestar y seguridad de las personas, evitando pérdidas de vida en el caso de un eventual colapso. Existen factores los cuales se deben tener en cuenta para poder prevenir los daños en una estructura, estos son: agresividad del ambiente, espesor de recubrimiento y resistencia a la penetración del agente corrosivo y el límite inaceptable del deterioro. [12]

En la presente investigación, la vida útil será estimada tomando en cuenta en Anejo 9° de la Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE), el cual se basa en el estado límite de durabilidad.

El proceso que se considera en el cálculo de la vida útil de una estructura, interviene dos distintos periodos:

- El período de iniciación de la corrosión (t_i), que es el lapso tiempo en el que la carbonatación y la penetración de iones cloruros pueden llegar al acero de refuerzo, provocando su despasivación [13].
- El período de propagación (t_p), que es el tiempo donde el acero se corroe llegando a un estado de degradación inaceptable, afectando la seguridad, estética y funcionalidad de la estructura

Finalmente, la vida útil de una estructura (t_L) se puede estimar sumando el tiempo de iniciación y el tiempo de propagación de corrosión.

Se refiere que, dentro de este periodo de vida útil de la estructura, se pueden hacer reparaciones de la estructura de forma a restituir condiciones de seguridad, funcionalidad o estética, siendo que después de alcanzado ese tiempo estas ya no son posibles. [13]

III. OBJETIVOS

3.1.OBJETIVO GENERAL

- Conocer el efecto de la corrosión del acero en estructuras de concreto armado.

3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las principales manifestaciones que produce el fenómeno de la corrosión
- Conocer el efecto de la corrosión del acero en la vida útil de las estructuras de concreto armado

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.TIPO DE ESTUDIO Y DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

El tipo de estudio a realizar es no experimental, porque se analizó el problema de los efectos de la corrosión del acero en el concreto armado bajo una visión netamente descriptiva. Para recopilar la información necesaria, es vital la revisión de libros, artículos y tesis disponibles.

4.2.HIPÓTESIS

La corrosión causa importantes daños en estructuras de concreto armado, lo que influye directamente en el deterioro de la vida útil de las mismas.

4.3.VARIABLES - OPERACIONALIZACIÓN

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES
Vida Útil del Concreto Armado	DEPENDIENTE	Para calcular la vida útil es necesario diferenciar dos fases de desarrollo de la corrosión: el periodo de iniciación, que es el tiempo necesario para que los agentes agresivos despasiven	Tiempo de Iniciación (T_i)	Profundidad de Penetración de Cloruros Profundidad de Carbonatación

		las armaduras, y el tiempo de propagación, que corresponde con la fase de corrosión activa de las armaduras. La vida útil será el resultado de la suma del tiempo de iniciación y el tiempo de propagación. [8]	Tiempo de Propagación (T_p)	Espesor de Recubrimiento
Corrosión del Acero de Refuerzo	INDEPENDIENTE	La corrosión del acero del refuerzo se da producto de la destrucción de la capa pasivadora, la cual se origina de forma natural sobre la armadura del concreto armado. Las causas de la degradación de la película de oxígeno son principalmente: pérdida de un pH alcalino debido a la reacción con sustancias ácidas presentes en el entorno, como la carbonatación; y la existencia de una concentración determinada de cloruros y otros iones.	Carbonatación	Contenido de Humedad Contenido de Sulfatos Potencial Acero Concreto Fisuración
			Cloruros	Contenido de Cloruros

4.4. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO

Para esta investigación, la población estará conformada por todas las fuentes bibliográficas, las cuales son libros, artículos y tesis.

La muestra de estudio son todas las tesis, libros y artículos escogidos acerca de los efectos de la corrosión del acero en estructuras de concreto armado.

4.5.MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÉCNICA	INSTRUMENTO	ELEMENTO DE POBLACIÓN
ANÁLISIS DOCUMENTAL	Fichas de análisis	Datos de la ficha de referencias bibliográficas

4.6.PROCESAMIENTO PARA ANÁLISIS DE DATOS

Los datos obtenidos mediante las fichas de referencias bibliográficas serán procesados con mediante gráficos y tablas elaborados en el programa Microsoft Excel, para así poder presentar y analizar con mayor facilidad los resultados, y posteriormente formular conclusiones sobre el problema estudiado.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Presentación de los Resultados

Según Pérez [8]:

Tabla 1

Profundidad de Carbonatación	Cloruros	Vida Útil
15 mm	No se encontró riesgo	220 años

Se calculó una profundidad de frente carbonatado de 15 mm, no se encontró riesgos por cloruros y además se determinó la vida útil de la estructura.

Según Ortega y Robles [9]

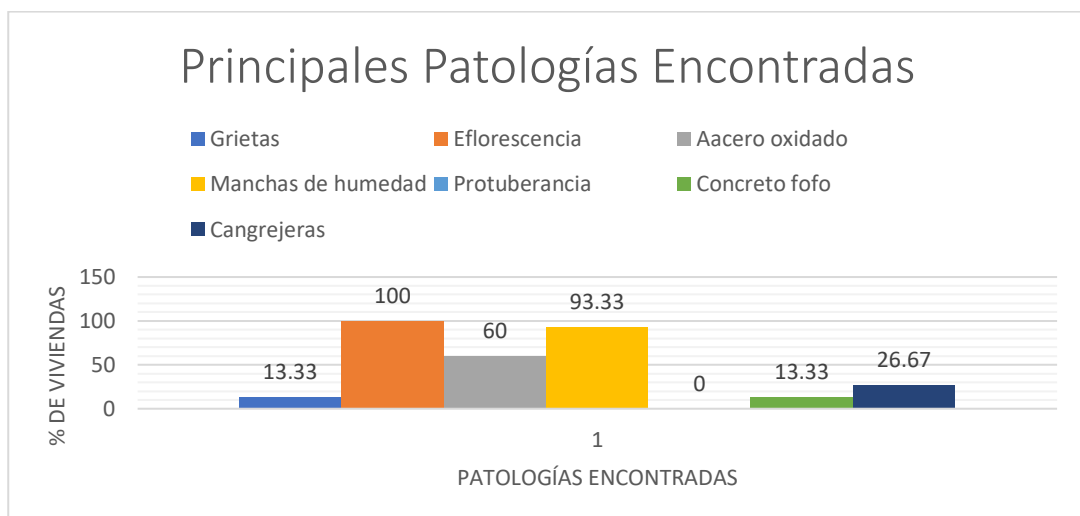
Tabla 2

Reducción de la sección de acero	Área de fisuración
16 %	40-200 mm ²

Se presentó una reducción de la sección de acero en un 16%, mientras que se calculó un área de fisuración de 40-200 mm²

Según Cerna y Galicia [4]

Gráfico 1



Las principales patologías encontradas después del estudio de las viviendas fueron: grietas, manchas de humedad, cangrejas, eflorescencia, acero oxidado, concreto fofo, protuberancias.

Según Devoto [6]

Gráfico 2

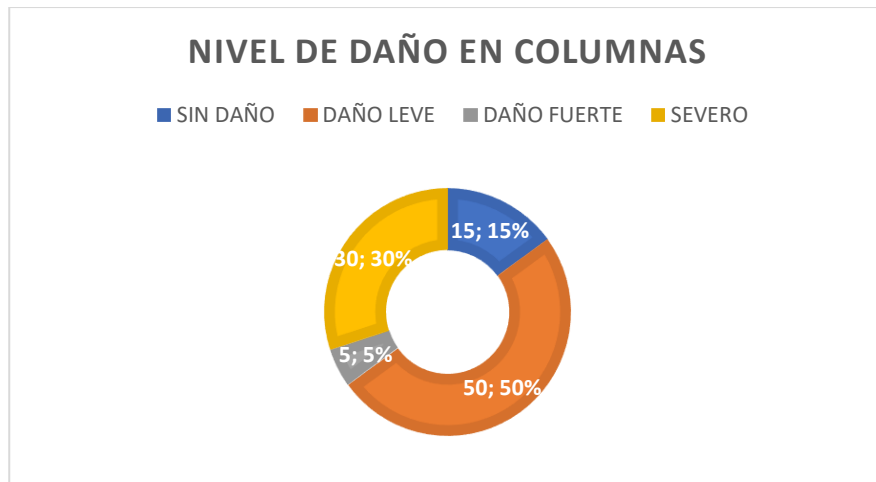


Gráfico 3

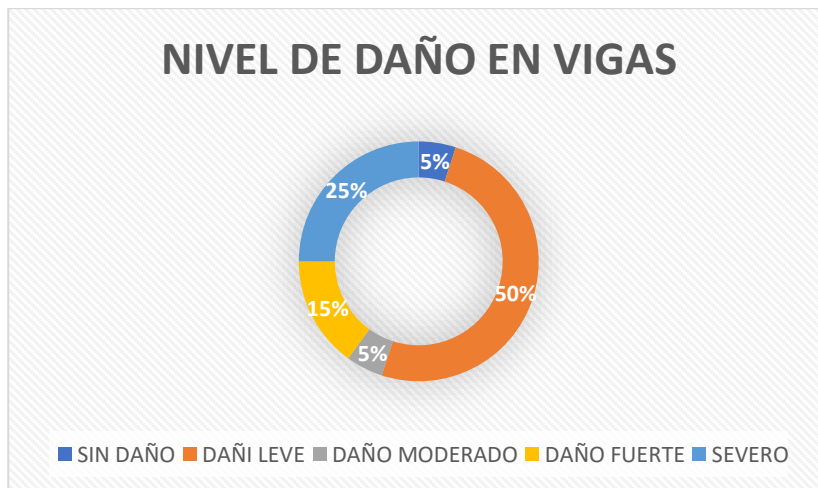
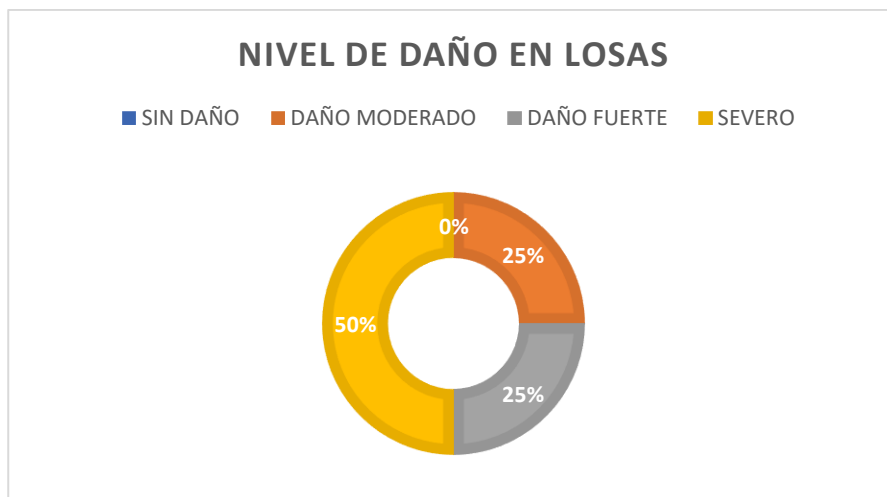


Gráfico 4



Se concluyó que las columnas y vigas muestran un daño leve, mientras que las losas muestran un daño severo

Según Machena [11]

Gráfico 5

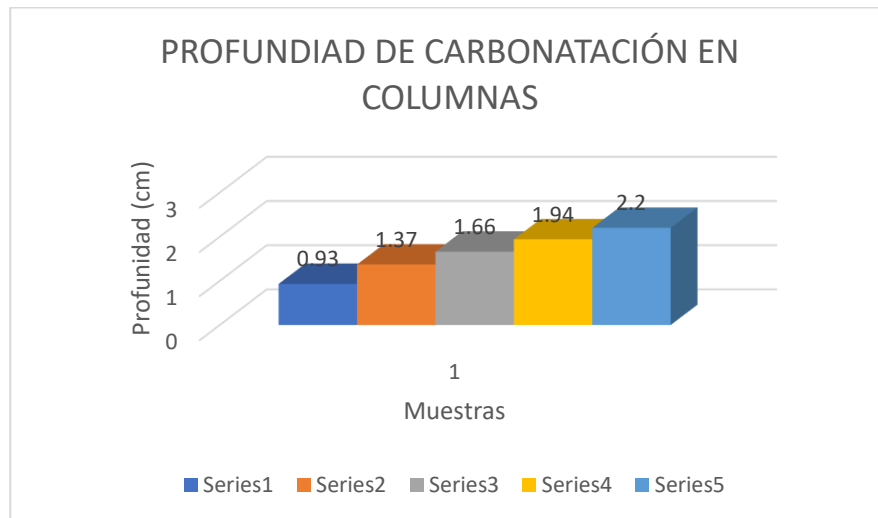


Tabla 3

COLUMNA A-1	FISURAS MODERADAS	e=0.32mm
COLUMNA A-2	FISURAS MODERADAS	e=0.35mm
COLUMNA A-3	FISURAS LEVES	e=0.25
COLUMNA A-4	FISURAS LEVES	e=0.18

VI. CONCLUSIONES

De la bibliografía estudiada, se puede concluir que:

- Los principales efectos en estructuras de concreto armado por la corrosión del acero son la reducción de la sección, pérdida de resistencia mecánica, pérdida de adherencia entre el concreto y el acero, aparición de fisuras y desprendimiento del recubrimiento.
- La corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto armado reduce el tiempo de vida útil de las mismas.
- Los principales mecanismos del fenómeno de la corrosión son la carbonatación y el cloruro, los cuales se ven afectados a la vez por las condiciones climáticas.
- Los tipos de corrosión son: generalizada, galvánica y localizada
- La vida útil puede determinarse mediante el Anejo N°9 de la EHE080
- Los mayores casos de corrosión se dan en las zonas costeras, debido a la humedad y ataques químicos que ofrece el ambiente.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una búsqueda exhaustiva de literatura internacional, nacional y local, para poder comparar el comportamiento y los efectos de la corrosión del acero que se dan en diferentes ambientes.
- Se recomienda realizar una evaluación a una estructura con el fin de evitar consecuencias grandes, lo que conllevaría pérdida de vidas humanas y/o grandes gastos de reparación o reconstrucción.
- Se recomienda determinar la vida útil de las estructuras de concreto armado afectadas por corrosión, con la finalidad de tomar las medidas necesarias ante cada caso

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] A. Chávez Godoy y A. Unquén Villanueva, Método de evaluación de patologías en edificaciones de Hormigón Armado en Punta Arenas, Punta Arenas: Universidad de Magallanes, 2011.
- [2] A. Del Valle Moreno, El fenómeno de la corrosión en estructura de concreto reforzado, Sanfandila, Qro: Instituto Mexicano del Transporte, 2001.
- [3] D. Sánchez De Guzmán, Durabilidad y Patología del Concreto, Colombia: Asociación Colombiana de Productores de Concreto (ASOCRETO), 2017.
- [4] M. Cerna Vasquez y W. Galicia Guarniz, VIDA UTIL EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO DESDE EL PUNTO DE VISTA DE COMPORTAMIENTO DE MATERIAL, Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2010.
- [5] CYTED. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión de Estructuras de Hormigón Armado, Madrid: Oladis T. Rincón, 2002.
- [6] J. 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, Chimbote: Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote, 2015.
- [7] R. Celis López, J. Pérez Quiroz, A. Torres Acosta, M. Martínez Madrid, W. Martínez Molina, L. Ariza Aguilar, E. Zamudio Cíntora, J. Genescá Llongueras y B. Valdez Salas, Durabilidad de la infraestructura de concreto reforzado expuesta a diferentes ambientes urbanos de México, Sanfandila, Qro: Instituto Mexicano del Transporte, 2006.
- [8] L. Pérez Méndez, Vida útil residual de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2010.
- [9] N. Ortega y S. Robles, Assessment of Residual Life of concrete structures affected by reinforcement corrosion, Bahía Blanca: Housing and Building National Research Center, 2014.
- [10] M. TAHERSHAMSI, Structural Effects of Reinforcement Corrosion in Concrete Structures, Gothenburg: CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2016.
- [11] J. F. Machena Córdova, Estructuras de concreto y corrosión del acero corrugado en la I.E. Niño Jesús de Praga distrito de SMP, Lima: Universidad César Vallejo, 2017.
- [12] E. Molina Benavente, Monitoreo y Diagnóstico de Estructuras de Concreto Armado afectadas por Corrosión de Cloruros, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2009.

- [13] F. S. Ventura, Gonçalo , Estudio experimental de los efectos de la corrosión de las armaduras en vigas continuas de hormigón armado, Universidad Politécnica de Catalunya, 2013.
- [14] C. Geocisa, Manual de evaluación de estructuras afectadas por corrosión de la armadura, Madrid, 2002.
- [15] Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE), Anejo 9º, Madrid.
- [16] Norma Legal, Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima: Megabyte, 2019.
- [17] A. C876-91, Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, EUA, 1999.
- [18] INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL, «PROYECTO INDECI – CIUDADES SOSTENIBLES,» 2003.
- [19] M. J. Bernal Camacho, DURABILIDAD EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO, LOCALIZADAS FRENTE A LA COSTA, Méxio D.F.: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, 2009.
- [20] Instituto Nacional de Defensa Civil, PLAN DE PREVENCION ANTE DESASTRES: USOS DEL SUELO Y MEDIDAS DE MITIGACION CIUDAD DE PIMENTEL, Pimentel: Municipalidad Distrital de Pimentel, 2003.
- [21] L. Camasca, «Más de 160 000 escolares están en riesgo ante un eventual sismo,» *Correo*, 29 Mayo 2019.

IX. ANEXOS

Anexo 01

TÍTULO DE LA TESIS	
UNIVERSIDAD	
FECHA	
AUTOR(ES)	
TIPO (pregrado, maestría , doctoral)	
PROBLEMA	
SOLUCIÓN	
HERRAMIENTAS QUE UTILIZA EL INVESTIGADOR PARA CREAR SU SOLUCIÓN (ejemplo metodología, métodos, técnicas, normativa etc indicar el nombre y para que utilizo en la investigación)	
RESULTADOS	
CONCLUSIONES	
TRABAJOS FUTUROS	
Dirección URL	