

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“GUÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA
CORROSIÓN DEL ACERO COMO
CONSECUENCIA DE LAS PATOLOGÍAS EN EL
CONCRETO ARMADO, CAJAMARCA 2021”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Tatiana Catali Chuquilin Zamora
Cesar Frank Basilio Galarreta Arroyo

Asesor:

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz
<https://orcid.org/0000-0001-9018-5763>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Henry Josué Villanueva Bazán	46486085
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Erlyn Salazar Huamán	71106769
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Felix Alejandra Velásquez Huayta	71821724
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

A Dios porque siempre ha estado con nosotros guiándonos en cada paso que damos, fortaleciéndonos y brindándonos sabiduría para continuar; a nuestros padres, quienes a lo largo de nuestras vidas han velado por nuestro bienestar y educación siendo nuestro apoyo en todo momento

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios por las metas alcanzadas, a nuestros padres, por habernos dado la oportunidad de crecer, por haberse preocupado por nosotros en todo momento e impulsado a seguir adelante. A mis profesores, a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias por prepararnos para un futuro competitivo no solo como los mejores profesionales sino también como mejores personas.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema	40
1.3. Objetivos	40
Objetivo general	40
Objetivos específicos	40
1.4. Hipótesis	40
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	41
2.1. Tipo de investigación	41
2.2. Variables de Estudio	43
2.3. Población y muestra	43
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	48
2.5. Procedimiento	54
CAPÍTULO III: RESULTADOS	62
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	73
Conclusiones	80

REFERENCIAS

81

ANEXOS

85

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	ESQUEMA DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	42
TABLA 2	CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y DE EXCLUSIÓN	44
TABLA 3	RELACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES A UTILIZAR EN EL ANÁLISIS	45
TABLA 4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	48
TABLA 5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	54
TABLA 6	TABLA DE RECOLECCIÓN DE INVESTIGACIONES.	55
TABLA 7	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN POR PAÍS.	56
TABLA 8	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN POR AÑO DE PUBLICACIÓN.	57
TABLA 9	CODIFICACIÓN DE INVESTIGACIONES	58
TABLA 10	DISTRIBUCIÓN DE PATOLOGÍAS MÁS FRECUENTES SEGÚN LOS ESTUDIOS REVISADOS	58
TABLA 11	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN POR PAÍS.	62
TABLA 12	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN POR AÑO DE PUBLICACIÓN.	64
TABLA 13	CODIFICACIÓN DE INVESTIGACIONES	65
TABLA 14	DISTRIBUCIÓN DE PATOLOGÍAS MÁS FRECUENTES SEGÚN LOS ESTUDIOS REVISADOS	68
TABLA 15	PORCENTAJE DE CORROSIÓN SEGÚN CADA PATOLOGÍA	69
TABLA 16	ESTRUCTURAS Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES AFECTADOS POR LA CORROSIÓN.	70
TABLA 17	CLASIFICACIÓN POR GRADO DE SEVERIDAD DE LA CORROSIÓN.	72
TABLA 18	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN POR TIPO DE ESTRUCTURA AFECTADA.	89
TABLA 19	RESULTADOS DE TIPOS DE PATOLOGÍAS DE CADA ESTUDIO	89
TABLA 20	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	90
TABLA 21	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	90
TABLA 22	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	90
TABLA 23	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	91
TABLA 24	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	91
TABLA 25	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	92
TABLA 26	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	92
TABLA 27	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	92
TABLA 28	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	93
TABLA 29	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	93
TABLA 30	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	94
TABLA 31	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	94
TABLA 32	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	94
TABLA 33	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	95

TABLA 34	RESULTADO DE LOS ESTUDIOS QUE PRESENTAN VEGETACIÓN.	95
TABLA 35	RESULTADO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO A CAUSA DE LAS PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	95
TABLA 36	RESULTADO DE LOS ESTUDIOS QUE PRESENTAN GRIETAS.	96
TABLA 37	RESULTADO DE LOS ESTUDIOS QUE PRESENTAN EROSIÓN.	96
TABLA 38	RESULTADO DE LOS ESTUDIOS QUE PRESENTAN DISGREGACIÓN.	97
TABLA 39	RESULTADO DE LOS ESTUDIOS QUE PRESENTAN FISURAS.	97
TABLA 40	RESULTADO DE LOS ESTUDIOS QUE PRESENTAN DESGASTE.	98
TABLA 41	RESULTADO DE LOS ESTUDIOS QUE PRESENTAN EFLORESCENCIA.	98
TABLA 42	RESULTADO DE LOS ESTUDIOS QUE PRESENTAN CARBONATACIÓN.	99
TABLA 43	RESULTADO DE LOS ESTUDIOS QUE PRESENTAN HUMEDAD.	99

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	CORROSIÓN DEL ACERO	24
FIGURA 2	ACERO PARA LA CONSTRUCCIÓN	27
FIGURA 3	FISURAS DEL CONCRETO ARMADO	31
FIGURA 4	ESCALA CON QUE SE MIDE LA ALCALINIDAD O ACIDEZ DE LAS SUSTANCIAS	32
FIGURA 5	CONCRETO CARBONATADO	33
FIGURA 6	FISURAS EN EL CONCRETO	35
FIGURA 7	EROSIÓN DEL CONCRETO ARMADO	36
FIGURA 8	EFLORESCENCIA DEL CONCRETO	37
FIGURA 9	PRESENCIA DE VEGETACIÓN	38
FIGURA 10	PRESENCIA DE HUMEDAD EN EL CONCRETO ARMADO	39
FIGURA 11	DISGREGACIÓN DEL CONCRETO ARMADO	39
FIGURA 12	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	49
FIGURA 13	FICHA RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN.	50
FIGURA 14	FICHA TÉCNICA 1 DE LA INVESTIGACIÓN.	52
FIGURA 15	FICHA TÉCNICA 2 DE LA INVESTIGACIÓN.	53
FIGURA 16	FLUJOGRAMA DE LA INVESTIGACIÓN	60
FIGURA 17	PORCENTAJE SEGÚN EL PAÍS DE CADA ESTUDIO.	63
FIGURA 18	PORCENTAJE DE ESTUDIOS POR AÑO DE PUBLICACIÓN.	65
FIGURA 19	PORCENTAJE DE ESTUDIOS POR TIPO DE ESTRUCTURA AFECTADA.	67

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito caracterizar la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto armado, para prevenir y proponer alternativas de solución y de mantenimiento a corto y largo plazo a través de la elaboración de una Guía; para ello se realizó la revisión bibliográfica de 36 estudios tomando en cuenta criterios de inclusión y exclusión para su selección, se aplicaron fichas de recolección de datos, fichas de resumen y fichas técnicas, de este modo se clasificó teniendo en cuenta los tipos de patologías, el porcentaje de corrosión, el tipo de estructura, los elementos estructurales y el nivel de severidad.

Los resultados de la investigación muestran que la patología más frecuente son las fisuras con un valor del 88%, la misma que genera el mayor porcentaje de corrosión con un 96.7%, del mismo modo se estableció que las estructuras más afectadas son las viviendas, teniendo como elemento estructural perjudicado a las columnas, se obtuvo también que el 53.33% corresponde al nivel de severidad moderado; por lo tanto al obtener estos resultados se llegó a la conclusión de que es necesario proponer una guía para la prevención o rehabilitación de la corrosión del acero debido a las patologías del concreto armado.

PALABRAS CLAVES: Acero, corrosión, Patologías, Concreto armado.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel mundial el concreto sigue siendo uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción, gracias a la gran capacidad de resistencia y durabilidad que ofrece durante su vida útil. Teniendo una producción aproximadamente de 13,000 millones de m³ por año. (Ceballos Arana, 2016).

Otro recurso indispensable para el desarrollo de la infraestructura es el acero, que al igual que el concreto presenta propiedades como flexibilidad, durabilidad, pero sobre todo resistencia a la tracción. La Asociación Mundial del Acero (Worldsteel) informó que la producción mundial de acero bruto alcanzó los 169,2 millones de toneladas (Mt) durante marzo del 2021. (Rumbo Minero Internacional, 2021)

Según lo publicado, por el reporte comercial de productos (MINCETUR, 2018) el Perú consume anualmente poco más de tres millones de TM (toneladas) de acero, de los cuales, 51% son importaciones (1,54 millones de TM) y 49% producción nacional (1,46 millones de TM).

Para poder hablar de patologías, debemos entender que una estructura de concreto debe ser apta para desempeñar la función para la que fue diseñada, bajo las condiciones de exposición al medio ambiente en el que se encuentra, ha sido muy común considerar como diseño de vida en servicio entre los 50 - 100 años dependiendo del tipo de estructura, con el paso del tiempo dichas estructuras se llegan a deteriorar, a causa de diferentes patologías que hacen perder su vida útil, así mismo una reparación o demolición de ésta. En la actualidad las reparaciones asociadas a patologías del concreto que ocasionan un desperfecto de su vida útil superan el 50% de los fondos dedicados a

la construcción en el Norte América y Europa; en economías emergente como en México, la cifra es mucho mayor. (Instituto Mexicano del cemento y del concreto, A.C, 2017).

La corrosión de las barras de acero de refuerzo en el concreto provoca el colapso de puentes, la falla de una parte de las carreteras, daños a edificios y estructuras de estacionamiento, etc., en consecuencia, pone en peligro la seguridad pública y requiere costos de reparación considerables. Por ejemplo, el colapso inesperado del puente Silver sobre el río Ohio en Point Pleasant debido a la fatiga por corrosión en 1967 resultó en la muerte de 46 personas y costó millones de dólares. En consecuencia, con el fin de estimar el costo de la corrosión en los Estados Unidos (EE. UU.), se realizó un estudio titulado "Costos de la corrosión y estrategias preventivas en los Estados Unidos" con la ayuda de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) y la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (NACE) Internacional, de 1999 a 2001 por CC Technologies Laboratories. Esta investigación estimó el costo directo promedio de la corrosión de \$8.3 mil millones por año solo para los puentes de carreteras y el costo total de la corrosión de las industrias estadounidenses se estimó en \$276 mil millones anuales, lo que equivale aproximadamente al 3.1% del Producto Interno Bruto (PIB). En 2014, NACE International inició un estudio titulado "Medidas internacionales de prevención, aplicación y economía de las tecnologías de la corrosión (IMPACT)" y fue realizado por Det Norske Veritas (DNV), Germanischer Lloyd (GL) y American Productivity and Quality Center (APQC) y sus socios industriales y tecnológicos en todo el mundo. A partir de este estudio, se estima que el costo de la corrosión a nivel mundial es de \$2,5 billones por año, lo que representa aproximadamente el 3,4 % del PIB mundial en 2013.

(Técnicas de control y evaluación de la corrosión para estructuras de hormigón armado , 2019)

El sector de la construcción en el Perú es una de las actividades económicas más importantes del país, teniendo como principales materiales al acero que al estar adherido con el concreto generan gran resistencia, brindando así estabilidad a la estructura, sin embargo, se ha visto que este proceso de construcción se ve afectado en los años por ambientes contaminados, como la concentración de cloruros y dióxido de carbono, además en algunos casos por la contaminación de químicos que arrojan algunas industrias, lo que produce el deterioro de las estructuras, causando diversas enfermedades al concreto armado, como la carbonatación, fisuras, agrietamientos, presencia de humedad, eflorescencia, entre otras.

Para ello existen normativas que nos permiten comprender y evaluar mejor a las patologías del concreto armado, una de ellas es el ACI 224.1R-93, el que nos proporciona información sobre las principales causas de la fisuración y los procedimientos para el control de ésta, también tenemos la norma española EHE - 08 "Instrucción del hormigón estructural" y la UNE 112011:94, las que nos dan a conocer las características que permiten identificar a la patología de carbonatación, donde se puede reconocer la variación del pH del concreto armado, así también nos presenta los métodos de reparación, por lo que se recomienda que se elabore con concreto de buena calidad, poco poroso y denso, para evitar el desarrollo de la carbonatación. Por otro lado, según BASF Construction Chemicals, proveedor líder de aditivos innovadores en la especialidad de concreto, nos plantea las causas dadas de la eflorescencia y algunas pautas recomendadas para el control de la misma, además, menciona que la norma ACI 116R define la eflorescencia como un depósito de sales usualmente blanco que se puede formar en la

superficie, por último, se mencionará que a causa de las patologías producidas en el concreto tenemos el fenómeno de la corrosión que se define por el ASTM G15 como la reacción química o electroquímica que produce un deterioro del material y de sus propiedades, así mismo, produce el descascamiento y la presencia de vacíos en el acero, generando la reducción de la sección transversal, además de disminuir su capacidad resistente, la norma ACI 222R-01 brinda métodos para prevenir la corrosión, y para minimizar la formación de las patologías.

La presente investigación, se realizó con el propósito de estudiar las diferentes patologías que atacan al concreto armado causando así la corrosión del acero, lo que resulta perjudicial para la vida útil de las estructuras, por lo que es fundamental conocer las diferentes enfermedades que causan daño al concreto, como son la presencia de fisuras, carbonatación, eflorescencia, desgaste, erosión, humedad, vegetación y agentes atmosféricos, ya que éstas se encuentran en el día a día en la ejecución de obras civiles, además nos brindará información relevante ya que en la normativa peruana no se hace referencia a estos tipos de estudios, por ello es significativo nuestro aporte a través de la elaboración de la "Guía para la prevención o rehabilitación de la corrosión del acero debido a las patologías del concreto armado", ésta contribución se respalda con normativas ya validadas como ACI, ASTM, EHE, EUROCÓDIGO 2, UNE, lo que proporcionará mayor seguridad y confiabilidad para el empleo de la misma.

Es así que esta problemática nos lleva a investigar sobre el tema ya mencionado.

(Boulangger Neira, 2018), en su investigación tuvo como objetivo determinar las patologías en el Puente Debora Norte ubicado en la Progresiva Km 066 + 282 de la carretera PE – 01N, Distrito de Pariñas, Provincia de Talara, Departamento de Piura,

basado en inspección visual de campo, los datos se recolectaran en formatos de fichas, luego se elaboró el análisis en gabinete basados en la guía de inspección, evaluación y mantenimiento de puentes (MTC-2006), obteniendo los resultados de las diferentes patologías fueron 8.7% en grietas, 4.35% disgregación, 34.78% desgaste y 4.35% de humedad provocando un 13.04% de corrosión en el acero, concluyendo que la patología con mayor incidencia es el desgaste.

(Pinedo Blas, 2018) en su investigación de tipo descriptiva, tuvo como objetivo determinar y evaluar los tipos de patologías y obtener el nivel de severidad en la que se encuentra la estructura, recolectaron información de manera visual, el procedimiento que se llevo a cavo, primero identificar las lesiones patológicas, donde se evaluaron un total de 20 unidades muestrales mediante "ficha técnica de evaluación" en las que se incluyen resultados de cada muestra, luego se realizo un levantamiento gráfico y recuento fotográfico de las lesiones dando como resultados los porcentajes de áreas afectadas por las patologías, Grieta 0.13 %, Erosión 0.50 %, Disgregación 2.07 %, Eflorescencia 7.20 % de este modo generándose un 7.76 % de corrosión, concluyendo que la estructura presenta diferentes tipos de patologías mencionados anteriormente, lo que conlleva a obtener un nivel de severidad en la estructura moderado.

(Pulido Moreno; Rico León, 2018) en su estudio, realizaron la caracterización de las patologías mecánicas, físicas y químicas existentes en los puentes peatonales de la localidad de Usaquén de la ciudad de Bogotá, mediante la aplicación del manual de inspección visual de puentes o pontones, realizar una investigación y evaluación de 33 puentes, por medio de fichas de inspección apoyándose en el manual de inspección visual de puentes y pontones de INVIAS y el manual de señalización vial del ministerio de transporte, los resultados del análisis de la estructura fueron fisuras 10.79%, humedad

7.39%, vegetación 6.82%, eflorescencia 5.11%, desgaste 4.55% provocando una corrosión de 7.39%, se concluyó que haciendo uso de manual para la inspección visual de puentes y pontones, se puede hacer una caracterización efectiva y detallada de las patologías existentes en los puentes peatonales de la localidad de Usaquén.

(Azabache Rios., 2018) en su estudio, determinaron y evaluaron las patologías del concreto armado en el reservorio elevado R7 de 2,300 m³ de Pachitea, mediante el estudio visual se analizaron 7 muestras de distintas partes de la estructura, por medio del llenado de fichas técnicas, utilización de fotografías y el uso del programa AutoCad, para obtener el área de las muestras, se obtuvieron los siguientes resultados de las patologías: humedad 7.28%, eflorescencia 9.94%, fisuras 0.42%, erosión 0.12%, ocasionando 4.31% de corrosión, se concluyó que las muestras presentan las patologías ya mencionadas lo que dio lugar a identificar el nivel de severidad Medio de la estructura analizada.

(Hurtado Garcia, 2017), en su tesis tuvo como objetivo evaluar las patologías en viviendas de concreto armado de la Urbanización Monterrico, se evaluaron 30 viviendas de concreto armado seleccionados por sus problemas existentes, a través de la observación y recolección de datos usando fichas de reporte donde se resume las características técnicas, también se realizó el estudio de suelos y ensayos esclerométricos, este sistema de funcionamiento está basado en la medida del rebote de una masa de acero, sobre la superficie de hormigón, una vez la masa ha impactado vuelve hacia atrás, arrastrando la aguja de una escala graduada donde se lee el resultado. Se encontraron los tipos de lesiones en las viviendas evaluadas, fueron eflorescencia y erosión 3%, agrietamiento 20%, fisuras 33%, humedad 10% obteniendo el 3% de corrosión, se concluyó que al evaluar las principales causas que origina la patología en

las viviendas son por un mal proceso constructivo, concreto mal dosificado y contaminado, material de mala calidad, recubrimientos insuficientes y la exposición al clima en las superficies expuestas al exterior e interior de la construcción.

(Zapata Avalos, 2018) en su tesis se tiene como objetivo determinar y evaluar las Patologías que se presentan en las Estructuras de Concreto Armado en el Módulo N° 01 de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Distrito de Bellavista, evaluó las estructuras de concreto armado que está conformado por floculador, sedimentador y filtros, donde emplearon la técnica de la observación y como instrumento de recopilación de datos (In-Situ) una ficha de inspección para el procesamiento de los resultados, las patologías que presento dicha estructura son erosión 27.49%, disgregación 22.18%, grietas 20.62, carbonatación 20.08%, humedad 1.24%, fisuras 0.84%, generando un 20.08% de corrosión, se concluyó que la estructura evaluada presentó con mayor incidencia la patología de la carbonatación, clasificándolo en un nivel de severidad de pésimo- severo.

(Sernaque Rivas, 2016), en su investigación tuvo como objetivo determinar, evaluar y definir un estudio sistemático y ordenado de los daños y fallas que se presentan en las columnas de concreto armado de la institución, por medio de inspección visual, recolección de datos por formularios de inventario básicos de colegio e implementación de fotografías, se evaluó 10 columnas por cada pabellón y condicionándolas mediante cuadros estadísticos para poder visualizar el grado de condición de cada estructura, para una futura solución ya sea en beneficio o en oposición del conjunto estructura, presento patologías en las columnas 10% grietas, 20% fisuras y 16.67% eflorescencia, se llega a la conclusión que 16 de ellas se encuentran en un estado que va de muy malo a pésimo

determinando el grado de daño de las columnas de concreto armado de dicha institución gracias al manual de daños y a los formatos establecidos presenta patologías reincidentes.

(Chuquija Vilca, 2017) en su estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto armado en viviendas de la urbanización Chucuito Callao, se evaluó 50 viviendas para las cuales se utilizaron fichas de recolección de datos así mismo se tomaron muestras para realizar ensayos de Carbonatación y contenido de Cloruros y Sulfatos, evaluadas en laboratorio, en la ficha de recolección de datos, presento 14% de carbonatación el cual ocasionó el 4% de corrosión a la estructura, se concluye que la evaluación de la corrosión del acero de refuerzo por contenido de cloruros y sulfatos si influye en la corrosión del acero en estructuras de concreto armado, según el análisis de laboratorio del contenido de cloruros y sulfatos es severa, en esta zona la corrosión produce fallas características en el concreto como afectando la estructura.

(Farfán Mariñas, 2018) en su tesis tiene como objetivo determinar y evaluar las Simón Rodríguez, identificó las lesiones patológicas; luego registrar en la ficha de inspección de campo por unidades de muestra, según su clase, severidad y área afectada patologías del concreto armado en los elementos estructurales del Puente Vehicular, apoyándose del manual de puentel del MTC-2008, las patologías que presentaron en los elementos estructurales son fisuras 33.05%, eflorescencia 19.34%, desgaste 11.97%, disgregación 11.95%, humedad 5.19%, erosión 3.77%, grietas 0.84% produciendo 1.03% de corrosión, se llegó a la conclusión que al evaluar los elementos estructurales se determinaron las diferentes patologías antes mencionada, teniendo como la mayor incidencia a la fisuración, considerando a la estructura en un nivel de severidad Regular.

(Mancilla Guzmán & Chávez Mejía, 2018), en su investigación tuvo como objetivo determinar las principales causas de corrosión en estructuras de concreto armado de viviendas autoconstruidas, evaluaron veinticinco viviendas con características similares para poder analizar el grado de corrosión y proponer técnicas de reparación estructural, la metodología realizada, fue la recolección de datos, la realización de ensayos de carbonatación, el cual usarón la fenolftaleína, ensayo de cloruros, mediante el uso de el ácido, y el ultimo ensayo es el de sulfatos mediante el uso de Espectrofotómetro calibrado, obteniendo resultados de las patologías más resaltantes que son fisuras 88% y grietas 84% en los diferentes elementos estructurales ocasionando corrosión alta y media con porcentajes de 72% y 16% respectivamente, concluyendo que las causas principales de corrosión del concreto son los agentes agresivos del medio ambiente, la profundidad de la carbonatación, el pH del concreto ácido y los sulfatos.

(Calderón Paredes, 2018) en su estudio tuvo como objetivo determinar y evaluar las patologías del concreto armado, se evaluó 8 unidades de muestra mediante la observación visual y el uso una ficha de evaluación de datos para la respectiva evaluación tales como: Cámara fotográfica, nos permitirá tomar las muestras de las patologías encontradas, Planos de Planta y Elevación del reservorio elevado, nos permitirá tener una mayor exactitud en la recopilación y evaluación de muestras, manuales y/o libros de referencia, para conocer a todos los tipos de patologías en las estructuras de concreto, obteniendo patologías como la disgregación 6.71%, fisuras 0.16%, eflorescencia 16.83% y humedad 4.22%, las cuales ocasionaron el 17.35% de corrosión a la estructura, se concluye que las patologías encontradas nos indican un nivel de severidad Severo.

(Bolívar García & Cañón Montoya, 2015) mediante su tesis tuvo como objetivo analizar la patología, fenómeno de carbonatación en puentes de concreto, evaluaron 16

artículos y realizaron la visita de campo, se completaron las fichas con datos relevantes referentes al tema y se aplicó la prueba de avance de carbonatación con fenolftaleína en los puentes de la zona a evaluar, obteniendo las siguientes patologías como resultado el 95% carbonatación, concluyendo que en la localidad de Teusaquillo el 95% de los puentes presentan carbonatación en sus elementos estructurales como vigas y/o columnas.

(Marchena Córdova , 2017) en su investigación tuvo como objetivo determinar cómo las estructuras de concreto se ven afectadas por la corrosión del acero corrugado en la I.E. Niño Jesús de Praga distrito de SMP, evaluaron 4 aulas por inspección general a través de fichas de recolección de datos identificando la interacción entre la corrosión del acero y el concreto, se obtuvieron resultados de las patologías provocadas por exposición ambiental como fisuras 50%, carbonatación 50% y humedad 50%. Concluyendo que es evidente que la corrosión del acero corrugado influyo en un nivel moderado en las estructuras de la I.E afectando su durabilidad y reduciendo su vida útil, lo que generará altos costos en su reparación para que este siga en servicio.

(Jiménez Cáceres , 2016), en su estudio tuvo como objetivo determinar y evaluar las patologías del concreto en las columnas, vigas, sobrecimientos y muros de albañilería confinada del cerco perimétrico, analizaron los elementos estructurales del colegio por medio del la inspección visual y el empleo de fichas de inspección, obteniendo resultados de distintas patologías como: Eflorescencia 52.66%, Erosión 38.36%, Fisuras 5.84%, Disgregación 1.84% y Grietas 0.34% provocando estas un 0.57% de corrosión, se concluye que los elementos estructurales más afectados por las patologías fueron muros con 79.12%, sobrecimientos 13.25%, columnas 5.01% y vigas 2.61%, lo que da como resultado un nivel de severidad moderado para esta estructura.

(Da Silva & Bezerra Cabral , 2014), en su investigación tuvo como objetivo recopilar datos sobre las principales manifestaciones patológicas que ocurren en las estructuras de hormigón armado en el estado de Ceará, evaluaron 30 trabajos por medio de levantamiento bibliográfico, creando una base de datos y catalogándolas por forma de uso y entorno. Obteniendo resultados de las manifestaciones patológicas evaluadas, que son: Fisuras 66.7% y Eflorescencia 26.67% provocando una Corrosión de 96.7%, concluyendo que debido a los resultados obtenidos por medio de la recopilación, se puede observar que al alto grado de agresividad ambiental y a malos o inadecuados procedimientos tanto en la etapa de diseño y en la ejecución es donde inician estos problemas, se puede minimizar los daños si existiese un efectivo control de calidad durante el proceso constructivo combinándolo con un programa de mantenimiento preventivo que ayudaría a mejorar estas enfermedades del concreto armado.

(Aguilar Villareal, 2013), en su tesis determino la influencia del grado de deterioro del acero de refuerzo, sobre la habilidad de la recuperación alcalina del concreto, aplicando la técnica de realcalinización electroquímica, evaluaron la influencia que tiene el deterioro del acero en la técnica de RAE en términos de repasivación de la armadura por recuperación del pH del concreto, realizaron dos mezcla de concreto, una con relación a/c de 0.50 y la otra de 0.65, utilizando cemento CPC-30R, el concreto fue curado durante 7 días y carbonatado totalmente, cada mezcla se dividió en tres niveles de corrosión, incipiente o bajo, moderado y alto, de acuerdo a su pérdida de masa; para proceder posteriormente a aplicar la realcalinización electroquímica, se concluye que la realcalinización electroquímica extiende la vida residual de una estructura de concreto reforzado carbonatado para distintos niveles de degradación del acero, por lo que

consideraron que al tener mayor pérdida de masa inicial del acero, menor es el pH alcanzado en el concreto al finalizar la RAE.

(González Díaz, 2010), en su tesis analizaron diferentes parámetros de aplicación de la RAE y características del concreto reforzado que influyen en la implementación de la técnica, particularmente se destaca en este estudio el carácter preventivo de la intervención, la realcalinización electroquímica fue aplicado en probetas de concreto reforzado que presentan carbonatación parcial y total. La evaluación del tratamiento ha sido evaluada en primer lugar por una caracterización físico-química la cual contempla: medición de la porosidad accesible al agua, determinación de perfiles iónicos alcalinos, determinación del pH con el indicador químico de fenolftaleína, medición cuantitativa del pH mediante la preparación de suspensiones y la medición de la profundidad y espesor realcalinizado, en segundo lugar, se llevó a cabo una caracterización electroquímica del sistema acero-concreto, a través de la medición de potencial del acero de refuerzo, la resistencia a la polarización y la espectroscopia de impedancia electroquímica, los resultados de este estudio demostraron que la realcalinización en concreto reforzado que presenta carbonatación parcial, el efecto se manifiesta principalmente en el concreto superficial (de 10 a 15 mm),

(Rodríguez Sierra, 2014), en su tesis tuvo como objetivo en realizar un estado del arte sobre el uso de polímeros en estructuras de concreto basado en documentos de investigación llevados a cabo en Colombia, se llevó a cabo la necesaria clarificación de conceptos empleados en la búsqueda y recolección de las tesis encontradas en Colombia, acerca del tema en específico que fue dándole el sentido que buscaba cubrir la investigación llevándola a los buscadores de información dentro de los repositorios institucionales que se encontraron en el Departamento Administrativo de Ciencia,

Tecnología e Innovación, se obtuvo que el uso de polímeros naturales, según los análisis realizados en las investigaciones de los trabajos de grados encontrados, se ha desarrollado el uso de polímeros naturales en adiciones respectivas al volumen de la mezcla, concluyendo que su utilización e investigación en estructuras de concreto se está empezando a estudiar y a ensayar, no es un fuerte en la construcción de elementos estructurales tales como vigas y columnas, más bien se le ha dado aplicación en pisos industriales.

La presente investigación consistió en elaborar una guía a partir de la caracterización de la corrosión del acero como consecuencia de las patologías en el concreto armado, la modalidad de trabajo que se utilizó fue la revisión bibliográfica, a través de la búsqueda y recopilación de artículos científicos y tesis, que fueron evaluados mediante criterios de selección, utilizando términos de búsqueda generales y específicos, lo que nos permitirá comprender los conceptos, métodos e identificar las investigaciones que guarden relación con la variable de estudio, de este modo se analizó y sintetizó toda la información encontrada. Por consiguiente, se elaboraron fichas de resumen las cuales fueron llenadas con la información recaudada de las diferentes investigaciones, también se realizaron fichas técnicas las que nos permitieron reunir toda la información sobre lo que afecta gran parte en el desarrollo de la construcción y a lo largo del tiempo en su vida útil, con ello se pretende también prevenir esta reacción en el acero dentro del concreto armado y proponer alternativas de solución y de mantenimiento en las estructuras.

Para entender mejor lo antes mencionado presentamos las siguientes bases teóricas que se detallan a continuación, y permiten llevar a cabo la presente investigación.

Corrosión

La corrosión es el ataque químico o electroquímico a que están sometidos los materiales metálicos por la acción del medio que los rodea provocando el deterioro o pérdida del valor de uso de dicho material y por lo tanto de la pieza, equipo o aparato construido con el mismo. (Camejo Giniebra, Domínguez Domínguez, & Marrero Águila, 2014)

Figura 1

Corrosión del acero



Nota: La figura 1, representa la corrosión del acero. Tomado de la revista *CienciaCierta Revista científica, tecnológica y humanística*.

Según su naturaleza o mecanismo.

Corrosión química: La primera ocurre en ausencia de humedad como, por ejemplo, en gases a altas temperaturas, como es el caso del ataque que sufren los tubos de calderas y de hornos por la parte de gases (Camejo Giniebra, Domínguez Domínguez, & Marrero Águila, 2014)

Corrosión Electroquímica:

La corrosión electroquímica, a diferencia de la química, se caracteriza por presentarse en múltiples formas diferentes y con distinto carácter del proceso de deterioro. Cada tipo se presenta en condiciones determinadas y sus causas en gran medida son específicas de dicho tipo, por la misma razón muchos métodos de combate son también específicos, así como la forma de evaluar la velocidad de corrosión. (Camejo Giniebra, Domínguez Domínguez, & Marrero Águila, 2014)

La excepción es la corrosión generalizada que responde en su totalidad a los principios cinéticos generales estudiados, sus métodos de evaluación ya fueron presentados y se combate con los métodos más generales o universales de protección que se estudiarán posteriormente como son la aplicación de recubrimientos, selección de materiales resistentes, adición de productos inhibidores de la corrosión, aplicación de protección catódica, etc. En el caso de la corrosión localizada resultan insuficientes los aspectos cinéticos generales estudiados para explicarlos cabalmente, además se presentan particularidades en su mecanismo cinético que las diferencia entre sí. (Camejo Giniebra, Domínguez Domínguez, & Marrero Águila, 2014)

Tipos de corrosión electroquímica

- **Corrosión generalizada, homogénea o uniforme:** se considera la existencia de zonas catódicas y anódicas definidas a nivel de cristal que mantienen su polaridad pero que pueden cambiar también alternamente.
- **Corrosión localizada sin efectos mecánicos:** Se presentan en ciertas zonas o regiones de la superficie del material o en el interior de su estructura y son producidas por efectos esencialmente electroquímicos.

- Corrosión Galvánico: es la determinación de la corriente galvánica o corriente cortocircuito que circula entre los metales en contacto.
- Corrosión picadura o pitera.
- Corrosión selectiva
- Corrosión intercrystalina.
- **Corrosión localizada con efectos mecánicos:** Se establece cuando en un mismo electrolito se encuentran en contacto entre si dos o mas metales de naturaleza diferente.
 - Corrosión rotura por tensión
 - Corrosión fatiga
 - Corrosión erosión
 - Corrosión cavitación
 - Corrosión rozamiento.

Materiales de construcción

1. Acero

El acero es una aleación de hierro con una cantidad de carbono que puede variar entre 0,03% y 1,075% en peso de su composición, dependiendo del grado. El acero conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades físico-químicas, sobre todo su resistencia. (Alacero, 2014)

Figura 2

Acero para la construcción



Nota. La figura 2, muestra acero para la construcción de la *Revista en obra*

Existen muchos tipos de acero según el/los elemento/s aleante/s que estén presentes. Cada tipo de acero permitirá diferentes aplicaciones y usos, lo que lo hace un material versátil y muy difundido en la vida moderna, donde podemos encontrarlo ampliamente. (Alacero, 2014)

Los dos componentes principales del acero se encuentran en abundancia en la naturaleza. El acero se puede reciclar indefinidamente sin perder sus atributos, lo que favorece su producción a gran escala. Esta variedad y disponibilidad lo hace apto para numerosos usos como la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas, aeronáutica, industria automotriz, instrumental médico, etc. Contribuyendo al desarrollo tecnológico de las sociedades industrializadas, pues ningún material logra igualarlo cuando se trata de resistencia al impacto o la fatiga. (Alacero, 2014)

Características

El acero es una aleación en caliente de carbono con el metal hierro y puede tener más aleaciones como el azufre, fósforo, manganeso, etc. En la producción del acero se tiene el

producto final cuando se le elimina todo el óxido que trae de su estado natural siendo el material más importante para la construcción. (ARQHYS, 2017)

Usos y aplicaciones

El acero se usa para la fabricación de herramientas, utensilios, equipos mecánicos, partes de electrodomésticos y maquinas industriales. El acero se consume en la construcción de camiones y de maquinaria para la agricultura. (ARQHYS, 2017)

Las construcciones ferroviarias, ya sea de vías o material rodantes, consumen grandes cantidades de acero. Se puede encontrar este elemento en la industria de las armas, sobre todo en el armamento pesado, vehículos blindados y acorazados. Los astilleros que construyen barcos petroleros, gasistas y buques cisternas son grandes consumidores del acero. Otra industria que recurre mucho acero es la automotriz, ya que muchas partes de los automóviles están compuestas por ese material, por ejemplo: el cigüeñal, piñones, ejes de transmisión de caja de velocidades y brazos de articulación de la dirección. (ARQHYS, 2017)

Propiedades

Propiedades físicas.

- **Alta resistencia:**

Es la oposición al cambio de forma y a las fuerzas externas que pueden presentarse como cargas con tracción, compresión, cizalle, flexión y torsión. La alta resistencia del acero estructural permite al diseñador proporcionar secciones esbeltas en comparación con otros materiales; por ejemplo, para un mismo edificio, las columnas de concreto de cualquier nivel, suelen ser mucho más robustas que si fueran de acero, reduciendo considerablemente las cargas muertas correspondientes al peso propio de la estructura. (López, 2014)

- **Uniformidad:**

El acero estructural, tiene la ventaja de que conserva sus propiedades a través del tiempo a temperaturas atmosféricas. (López, 2014)

- **Elasticidad:**

Corresponde a la capacidad de un cuerpo para recobrar su forma al dejar de actuar la fuerza que lo ha deformado. Se apega más a la hipótesis de diseño elástico, porque sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos relativamente altos. (López, 2014)

- **Ductilidad:**

Es la capacidad que tienen los materiales para sufrir deformaciones a tracción relativamente alta, hasta llegar al punto de fractura. Debido a esta propiedad, las estructuras se deforman considerablemente antes de la falla; o lo que es lo mismo, se puede detectar inminencia la falta de una estructura cuando se observa una deformación excesiva (López, 2014)

Propiedades químicas.

- **Oxidación:**

La oxidación se produce cuando se combina el oxígeno del aire y el metal. La oxidación es superficial, produciéndose en la capa más externa del metal y protegiendo a las capas interiores de la llamada oxidación total. El óxido no es destructivo (López, 2014)

- **Corrosión:**

Se considera corrosión a toda acción que ejercen los diversos agentes químicos sobre los metales, primeramente, en la capa superficial y posteriormente en el resto. Cuando es producida por el oxígeno y usando como catalizador el agua, la corrosión es progresiva desde

la capa superficial hasta el interior del metal lo que provoca su total destrucción. (López, 2014)

2. Patologías del concreto armado

La ciencia dedicada al estudio sistemático y ordenado de los daños y fallas que se presentan en las edificaciones, analizando el origen o las causas y consecuencias de ellos para que, mediante la formulación de procesos, se generen las medidas correctivas para lograr recuperar las condiciones de desempeño de la estructura. Algunos autores muestran su desacuerdo por el término "patología", considerando más acertados los términos de Reparación y Mantenimiento.

Los problemas patológicos en estructuras de concreto armado no son nuevos ya que empiezan a presentarse al aparecer el propio material. Por tanto, de manera sintetizada revisaremos algunos conceptos que nos permitirán entender mejor las diversas patologías del concreto y de sus componentes. (Bilbao Alba, 2009)

Tipos de patologías

- **Fisuras**

Ante todo, debemos asimilar que es un hecho que las obras de concreto armado se fisuran, aunque en la mayoría de los casos esta fisuración no compromete la resistencia de la estructura. Por tanto, la reparación de fisuras atiende a motivos estéticos, funcionales o de durabilidad. Sobre todo, de durabilidad ya que al aparecer una fisura aumenta el flujo de agentes externos como humedad o CO_2 que favorecerán la aparición de otras patologías como la corrosión de armaduras o la carbonatación. (Ingenieros Asesores, 2015)

Figura 3

Fisuras del concreto armado



Nota. La figura 3 muestra fisuras en el concreto según (Pascal.L,2021)

Para hacernos una idea de lo que estamos hablando podemos enumerar algunas técnicas de reparación de fisuras en función de su origen. Cabe reseñar también que debe de estar ya localizado y resuelto el origen de las fisuras y éstas deben de estar ya inactivas:

Inyección: Consiste en rellenar la fisura, en general, con resina epoxi o lechada.

Vaciado y sellado: Es la técnica más simple y común. Se vacía y agranda la cabeza de la fisura y se sella con el producto más adecuado en cada situación. Existen multitud para elegir en el mercado.

Junta y recubrimiento: Muy similar a la anterior, pero buscando esta vez convertir la fisura en una junta controlada y estanca.

Junta con banda metálica: Se vacía la cabeza de la fisura y se recubre con una banda metálica que proporciona estanqueidad y permite ciertos movimientos transversales, puede ir recubierta o no.

Grapado: Se cose la fisura con grapas metálicas, con esto se refuerza la resistencia mecánica de la zona, también se rellena la fisura con lechada o mortero.

Cosido con bandas de fibra de carbono: En principio más fácil de ejecutar que el grapado tradicional y el efecto de cosido se extiende por una superficie mayor alrededor de la fisura.

Y también existen patologías del concreto de origen químico como pueden ser la carbonatación. Aun suponiendo que las fases de proyecto y ejecución se han desarrollado de manera óptima las patologías de origen químico pueden obligar a tener que realizar acciones de reparación o refuerzo en estructuras de concreto armado de cierta edad. (Ingenieros Asesores, 2015)

- **La carbonatación**

Es uno de los principales problemas del concreto armado y se produce cuando el CO_2 del ambiente reacciona con el hidróxido de calcio de la mezcla para formar carbonato de calcio. La consecuencia es la bajada del PH y la corrosión de las armaduras metálicas. Es entonces cuando los hidróxidos se combinan con el carbono y el PH baja a niveles inferiores de 9 convirtiendo el medio en ácido, eliminando la protección pasiva de las armaduras y favoreciendo el proceso de oxidación. (Ingenieros Asesores, 2015)

Figura 4

Escala con que se mide la alcalinidad o acidez de las sustancias

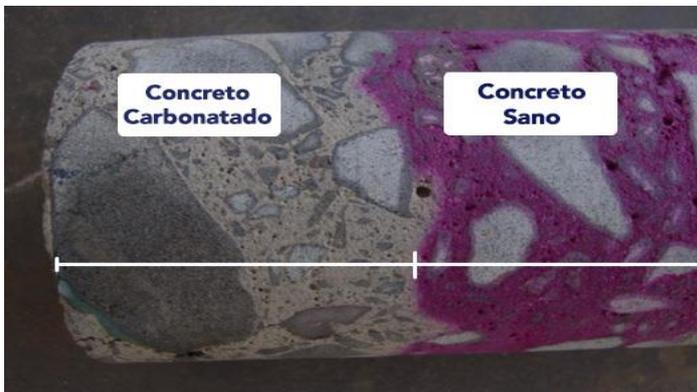


Nota: La figura 4, muestra la escala con la que se mide la alcalinidad o acidez de las sustancias según *Abinco*

Al corroerse las armaduras éstas aumentan su volumen provocando desconchones, fracturas y pérdida de cohesión de la estructura, esos otros factores causantes de la corrosión son el oxígeno y la humedad, cuantas más vías de penetración de humedad y oxígeno tengamos en el concreto (porosidad, fisuras, grietas) más rápida e intensa será la corrosión del metal. El problema de la corrosión de las armaduras es que al hacerlo aumentan su volumen fracturando la estructura. (Ingenieros Asesores, 2015)

Figura 5

Concreto carbonatado



Nota: La figura 5, muestra una comparación del concreto carbonatado con el concreto sano según *Abinco*.

Así mismo, los tratamientos contra esta patología se centran en su mayoría en actuar sobre alguno de estos elementos, los que se usan más comúnmente antes de que la corrosión haya iniciado son:

Inhibidores de corrosión que cumplan las características y requisitos necesarios para ser usados como aditivo en la pasta cementicia. (Ingenieros Asesores, 2015)

Pinturas anti-carbonatación que evitan el descenso progresivo de la alcalinidad del concreto, algunas incluyen propiedades tapa poros o de puenteo de fisuras. (Ingenieros Asesores, 2015)

Tratamientos hidrófugos que aumentan la impermeabilidad del recubrimiento.

Realcalinización y extracción de cloruros que aumentan la durabilidad del concreto volviendo a elevar el pH, aunque su efecto no es ni mucho menos permanente.

Sin embargo, si el concreto se ha efectuado de manera correcta, es decir, evitando fisuras y grietas por tensión mecánica, buena dosificación del cemento; la carbonatación es un proceso lento que alcanzaría una penetración de 20mm en unos 20 o 25 años. (Ingenieros Asesores, 2015)

En el caso de que las armaduras ya hayan iniciado el proceso de oxidación el estudio ha de ser más intenso y dependiendo del grado de afectación deberán tomarse medidas como los saneamientos localizados, el refuerzo de la estructura o la demolición en el peor de los casos. (Ingenieros Asesores, 2015)

La forma más común de diagnosticar carbonatación en concreto es mediante el test de fenolftaleína. La fenolftaleína es un compuesto químico que indica el nivel de PH de un material de modo que toma un color rosado si es superior a 9, indicando claramente donde hay carbonatación y donde no. (Ingenieros Asesores, 2015)

- **Grietas**

Las grietas y fisuras son roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente. Son muchas las causas que originan esta terrible enfermedad en el hormigón, las de origen químico, principalmente atribuidas a cambios derivados por la hidratación del cemento o por la oxidación del acero de refuerzo, mientras que las de origen físico, mayoritaria por demás, obedecen a dos tipos de acciones que, aunque etimológicamente son totalmente diferentes, ambas producen cambios volumétricos significativos. Estos cambios son expansiones y contracciones, ahora bien, cuando los elementos de

hormigón están restringidos, la expansión origina esfuerzos de compresión y la contracción origina esfuerzos de tracción. El hormigón es particularmente débil ante este último tipo de esfuerzo, produciendo el agrietamiento cuando este sobrepasa sus valores de resistencia. (Toirac Corral, 2004)

Figura 6

Fisuras en el concreto



Nota: La figura 6, se muestra como son las fisuras en el concreto según (UMACON, 2017)

- **Erosión**

La erosión del hormigón se manifiesta de dos maneras: abrasión y cavitación. Ambas son típicas de las obras hidráulicas en las que el agua a gran velocidad provoca un desgaste superficial de la estructura; aunque la abrasión también aparece en pavimentos que sufren un paso continuo de vehículos. (Porto Quintián, 2005)

Figura 7

Erosión del concreto armado



Nota: La figura 7, se puede observar la erosión del concreto armado según (James Smith,2013)

- **Eflorescencia**

Son manchas blanquecinas de aspecto irregular que aparecen en superficies que han sufrido humedad. Cuando la superficie se seca y el agua se evapora se da la cristalización de algunas sales solubles que se encuentran en el agua y así aparecen las eflorescencias. Los principales causantes de este problema son las precipitaciones y la humedad y, por ello, para prevenir y tratar las manchas de eflorescencia será fundamental proteger las superficies frente a estos factores. (Porto Quintián, 2005)

Figura 8

Eflorescencia del concreto



Nota: La figura 8, se puede observar la eflorescencia del concreto según (*Portal Ondac Construcción, 2017*)

- **Vegetación**

Se presenta por la presencia de microorganismos en las estructuras material vegetal, ya que estos aumentan la permeabilidad del concreto conduciendo a la saturación del material. Así mismo pueden ocasionar ataques químicos al concreto desencadenando desintegración de la pasta de cemento, manchas, expansión de materiales, olores desagradables. (Porto Quintián, 2005)

Figura 9

Presencia de Vegetación



Nota: La figura 9, muestra que existe presencia de vegetación en el concreto según (Panqueva Raba, 2015)

- **Humedad**

La humedad puede existir en forma de agua (cuando el hormigón está húmedo y los poros están saturados) o bien como vapor de agua. La cantidad de vapor de agua, y por lo tanto la humedad relativa dentro del hormigón, varía significativamente con el tiempo, a medida que el vapor de agua entra o sale del hormigón. (Porto Quintián, 2005)

Figura 10

Presencia de humedad en el concreto armado



Nota: La figura 10, presenta humedad en el concreto armado según (Ferran Guarch,2010)

- **Disgregación**

Las disgregaciones se dan por la disolución de la pasta cementante por ende deja de funcionar como aglomerante, los componentes del concreto pierden cohesión y los áridos se desprenden. (Chávez & Unquén, 2019)

Figura 11

Disgregación del concreto armado



Nota: La figura 11, muestra la disgregación del concreto armado, según (peritararquitectura,2011)

1.2. Formulación del problema

¿Existe una guía para la comprensión de la caracterización de la corrosión del acero como consecuencia de las patologías en el concreto armado, Cajamarca 2021?

1.3. Objetivos

Objetivo general

- Proponer una guía para la caracterización de la corrosión del acero como consecuencia de las patologías en el concreto armado en la ciudad de Cajamarca.

Objetivos específicos

- Identificar cuáles son las patologías del concreto armado más frecuentes.
- Establecer que patología genera mayor porcentaje de corrosión.
- Establecer que estructuras y elementos estructurales son más afectados por la corrosión.
- Clasificar el grado de severidad en base a los estudios analizados
- Identificar si los estudios cumplen con los procedimientos de evaluación de las patologías según normativa.

1.4. Hipótesis

La elaboración de una guía nos permitirá comprender mejor como prevenir o solucionar problemas ocasionados por la corrosión.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Enfoque

Se consideró en esta investigación el enfoque cualitativo, ya que (Borja Suárez, 2012), define que estos estudios se basan en un proceso inductivo, es decir exploran la realidad describiéndola y proponiendo algunas teorías, también involucra la recolección de datos utilizando técnicas que no pretendan hacer mediciones numéricas como, descripciones, observaciones, revisión de documentos, discusiones en grupo o empleando entrevistas. Además, las variables de estudio no se definen con el propósito de manipularse ni de controlarse experimentalmente. De este modo, en la presente investigación no se consideró la cuantificación de datos si no el empleo de técnicas y consideraciones como, describir u observar las características, cualidades y propiedades.

2.1.2. Tipo

El marco de esta investigación es de tipo descriptivo, (Borja Suárez, 2012), menciona que las investigaciones descriptivas estudian y determinan las propiedades y características más representativas de los objetos como, personas, viviendas, concreto armado, probetas o cualquier otro fenómeno que se quiera investigar, además tiene la capacidad para seleccionar las características fundamentales del estudio y su descripción detallada de las partes, categorías o clases. Esta investigación es descriptiva, ya que busca detallar y determinar las características de la corrosión del acero como consecuencia de las patologías del concreto armado.

2.1.3. Diseño de Investigación

Esta investigación define un diseño no experimental, ya que sólo llega a recopilar información tal cual es su contexto natural, es decir sin alterar variables. Del mismo modo (Borja Suárez, 2012), sustenta que las investigaciones no experimentales no establecen, ni pueden probar relaciones causales entre dos variables o entre dos elementos, dicho de otro modo, se basan en la obtención de información sin manipular los valores de las variables, mostrándolas tal como se manifiestan en realidad.

Asimismo, una investigación de corte longitudinal es un tipo de diseño de investigación que consiste en estudiar y evaluar a las mismas personas por un período prolongado de tiempo (Myers, 2006). Teniendo en cuenta esta teoría podemos decir que la presente investigación es de corte longitudinal, ya que describe y analiza las características de la corrosión del acero como consecuencia de las patologías del concreto armado, estudiando los cambios que se da a través del tiempo.

Tabla 1

Esquema del diseño de Investigación

CRITERIO	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Enfoque de la Investigación:	CUALITATIVO
Tipo de estudio:	DESCRIPTIVO
Diseño de la Investigación:	NO EXPERIMENTAL: LONGITUDINAL
Intervención del Investigador:	OBSERVACIONAL

2.2. Variables de Estudio

La corrosión del acero como consecuencia de las patologías en el concreto armado.

2.3. Población y muestra

Grupo de estudio

La muestra es de tipo no probabilística, porque se realiza una revisión bibliográfica que cumple con criterios de selección, inclusión y exclusión elegido a criterio y conveniencia del investigador, la muestra no ha sido seleccionada de manera aleatoria, ya que se ha requerido tomar un grupo de estudio de fuentes primarias para el desarrollo de la tesis.

En este tipo de muestreo, todas las unidades que componen la población no tienen la misma posibilidad de ser seleccionada "también es conocido como muestreo por conveniencia, no es aleatorio, razón por la que se desconoce la probabilidad de selección de cada unidad o elemento de la población. (Pineda, 1994)

Esta investigación tiene como técnica la revisión documental el cual consiste en detectar, consultar y obtener la bibliografía y otros materiales útiles para los propósitos del estudio, de los cuales se extrae y recopila información relevante y necesaria para el problema de investigación. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista lucio, 2014)

Tabla 2

Criterios de inclusión y de exclusión

CRITERIOS	INDICACIONES
Inclusión	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios que respondan a la pregunta de investigación. • Estudios que se relacionen con los objetivos de la investigación. • Estudios publicados y aceptados en los 10 últimos años. • Investigaciones que se encuentren publicados en las bases de datos Google Académico, Scielo, Redalyc.org, ProQuest y Science Direct • Investigaciones relacionadas con la variable de estudio (la oxidación del acero como consecuencia de las patologías del concreto armado). • Estudios publicados en idioma español e inglés.
Exclusión	<ul style="list-style-type: none"> • Investigaciones que no presenten metodología correcta y clara. • Estudios que presenten resultados incompletos. • Investigaciones publicadas después de los 10 últimos años.

Nota. La tabla 2, menciona los criterios de inclusión y exclusión los que nos ayudaran para la selección de nuestro grupo de estudios.

Tabla 3
Relación de las investigaciones a utilizar en el análisis

AUTOR	TÍTULO	AÑO	FUENTE DE INFORMACIÓN
MOISÉS GONZALO PINEDO BLAS	Determinación y evaluación de las patologías del concreto armado del reservorio Apoyado R1, del distrito de Coishco, provincia de Santa, departamento de Áncash.	2018	Tesis
BRAYAN SEBASTIÁN PULIDO MORENO; LUIS ÁNGEL RICO LEÓN	Caracterización de las patologías de los puentes peatonales en la localidad de Usaquéen.	2018	Tesis
ROBERTO WALTER AZABACHE RIOS.	Determinación y evaluación de las patologías de concreto armado del reservorio elevado R7 - Pachitea, capacidad 2,300 m ³ - Piura, Piura, abril 2018.	2018	Tesis
FABIÁN ANDRÉS RODRÍGUEZ SIERRA	Uso de polímeros en la reducción de patologías de origen químico en estructuras de concreto.	2014	Tesis
LUIS ALBERTO HURTADO GARCIA	Evaluación de las patologías en viviendas de concreto armado en la urbanización Monterrico - distrito Jaén -departamento Cajamarca-2017.	2017	Tesis
ERICK GABRIEL ZAPATA AVALOS	Determinación y evaluación de patologías en las estructuras de concreto armado en el módulo n° 01 de la planta de tratamiento de agua potable del distrito de bellavista, provincia de Sullana, departamento de Piura	2018	Tesis
BALDOMERO GERMÁN CERDÁN CHÁVEZ	Influencia del galvanizado en caliente, en las propiedades mecánicas del acero de la barra corrugada, norma ASTM A-615, grado 60, para prevenir la corrosión en las estructuras de concreto armado	2018	Tesis
SERNAQUE RIVAS DONNA CELINA	Evaluación y determinación de patologías en las columnas de concreto armado de los pabellones I y II de la institución educativa "la unión"-distrito la unión-provincia Piura departamento Piura.	2016	Tesis
CHUQUIJA VILCA, ZORAIDA	Evaluación de la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto armado en viviendas de la urbanización Chucuito Callao 2017.	2017	Tesis
MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA	Impactos de las tecnologías en la ingeniería civil.	2019	Libro

CARLOS DAVID FARFÁN MARIÑAS	Determinación y evaluación de las patologías del concreto armado en los elementos estructurales del puente vehicular Simón Rodríguez, con una longitud de 423.80 mts, en el distrito de amotape, provincia de Paita, departamento de Piura, abril - 2018.	2018	Tesis
JOSÉ CÉSAR AGUILAR VILLARREAL	Influencia del deterioro por corrosión del acero sobre la realcalinización del concreto reforzado carbonatado.	2013	Tesis
CÉSAR DÍAZ GÓMEZ	Principales problemas de patología en las construcciones de estructura de hormigón.	2002	Tesis
FRANCISCO GONZÁLEZ DÍAZ	Realcalinización electroquímica del concreto reforzado carbonatado: una opción de prevención contra la corrosión.	2010	Tesis
PAREDES, JOSUÉ PRIETO, JUAN SANTOS, EDUARDO	Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: vigas y columnas.	2013	Artículo Científico
ANA CAROLINA LAMEGO MORAES	Recurrencia de patologías en procesos de ataque vía cloruro en concreto armado.	2012	Tesis
BOULANGGER NEIRA, JEEN PAUL	Determinación y evaluación de patologías en el puente Debora norte, ubicado en el progresivo km 66-282 de la carretera PE – 01N, distrito de Pariñas, provincia de Talara, departamento de Piura, mayo 2018.	2018	Tesis
ANGY IVONE MANCILLA GUZMÁN; JUAN CARLOS CHÁVEZ MEJÍA	Análisis de principales causas de corrosión en estructuras de concreto armado de viviendas autoconstruidas en la Urb. Manco Capac, San Juan de Lurigancho, 2018.	2018	Tesis
BONIFACIO MANRIQUE MÁRQUEZ	Evaluación de la Re alcalinización de estructuras de concreto reforzado carbonatado: descripción del comportamiento postratamiento.	2011	Libro
CALDERÓN PAREDES, KAREN ROSILLO	Determinación y evaluación de las patologías de concreto armado del reservorio elevado R11 - Miraflores, capacidad 700 m3 - Castilla, Piura, abril 2018	2018	Tesis
V.MILLANO; O. TROCONES DERICÓN; M. SANCHEZ; M. FERNÁNDEZ; R. FERNÁNDEZ; W. CAMPOS; S. DELGADO; J. GUANIPA; J. DELGADO	Evaluación y criterios de rehabilitación de la estructura de concreto reforzado de una refinería en un medio marino- costero.	2011	Revista Científica

R.S. MENESES; J. M. MORO; R.R AVELDAÑO; N.F. ORTEGA	Influencia del espesor del recubrimiento de elementos de hormigón armado expuestos a procesos de corrosión y sometidos a cargas externas.	2018	Revista Científica
RAQUEL AVELDAÑO; NÉSTOR F. ORTEGA	Caracterización del agrietamiento del hormigón por corrosión de las armaduras en diferentes ambientes.	2010	Artículo Científico
CRISTIAN CAMILO CULMA RODRÍGUEZ; CAMILO FORERO	Guía metodológica para el reconocimiento In situ de patologías de concreto.	2021	Tesis
JOSUE PAREDES; JUAN PRIETO; EDUARDO SANTOS	Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: vigas y columnas	2013	Artículo Científico
ANGIE CAROLINE BOLÍVAR GARCÍA; SANTIAGO EDUARDO CAÑÓN MONTOYA.	Análisis de patologías fenómeno de carbonatación en puentes de concreto en las localidades de Teusaquillo, Engativá y Fontibón	2015	Tesis
JUAN FRANCISCO MARCHENA CÓRDOVA	Estructuras de concreto y corrosión del acero corrugado en la I.E. Niño Jesús de Praga Distrito de SMP	2017	Tesis
MÓNICA KAREN JIMÉNEZ CÁSERES	Determinación y evaluación de las patologías del concreto en columnas, vigas, sobrecimientos y muros de albañilería confinada del centro perimétrico de la I.E María Reina de la Paz, Distrito de Pariñas, Región Piura.	2016	Tesis
C.O'NEILL, ROBERT; L. HILL, RUSSELL; BARRY BUTLER, W; G. CABRERA, JOSEPH; L. CARRASQUILLO, RAMÓN; E. ELLIS, WILLAM; ERLIN, BERNAD; FIDJESTO, PER	Guía para la durabilidad del hormigón.	2016	Libro
COMITÉ ACI 222 R-01	Protección de metales en el concreto contra la corrosión.	2001	Libro
ANDRÉS A. TORRES ACOSTA	Consecuencias estructurales de la corrosión del hormigón armado.	2007	Artículo Científico
S.H. LÓPEA DA SILVA; C. LONDERO; M.H.F, MEDEIROS; V.C.O PEREIRA; E.C.B MONTEIRO	Elección del tipo de cemento capaz de proteger al concreto de la corrosión de las armaduras sobre la acción de iones cloruros a través del análisis jerárquico.	2015	Artículo Científico
ANGÉLICA DEL VALLE MORENO; TEZOZÓMOC PÉREZ LÓPEZ; MIGUEL MARTÍNEZ MADRID.	Fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado.	2001	Artículo Científico

MAXIMILIANO D. SEGOVIA; MARÍA F. CARRASCO; ROMERO E. MIRETTI; NÉSTOR ULIBARRIE; CARLOS DEFAGOT; RAÚL PUGA	Aplicación de ensayos no destructivos en la evaluación de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión.	2007	Artículo Científico
SILVA DA, LUIZA KILVIA; CABRAL BEZERRA, ANTONIO EDUARDO	Encuesta de manifestaciones patológicas en estructuras de concreto armado en el estado de Ceará.	2014	Artículo Científico
CARLOS ALBERTO PARRA VALENCIA	Estudio Patológico Tanque De Almacenamiento de Agua Potable	2016	Libro

Nota. La tabla 3, muestra los estudios seleccionados por autor, título, año y fuente de información.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica empleada en la investigación fue la búsqueda documental, con la que se recopiló toda la información, elaborada por diferentes autores que se basan en la caracterización de la corrosión en el acero como consecuencia de las patologías en el concreto armado, las cuales nos ayudaron para identificar el objetivo de estudio, sus resultados, conclusiones y las posibles soluciones que estos estudios pudieran brindar.

Tabla 4

Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

	Técnica	Instrumento
Recolección de datos	Revisión Documental	-Ficha resumen de las investigaciones. -Fichas de recolección de datos. -Ficha de recolección de información técnica.

Nota: La tabla 4, muestra la técnica e instrumento que se utilizaron para la recolección de datos.

Los instrumentos de recolección de datos que se utilizaron: “*fichas de recolección de datos*”, “*fichas de resumen*” y “*fichas técnicas*”. En la primera ficha se consideraron en la parte “A” los siguientes ítems: fuente, autor, tema, lugar, año y relevancia, los que nos permitieron nombrar de manera general cada una de las fuentes consultadas para la presente investigación sin ahondar en su desarrollo o resultados (ver Figura 12)

Figura 12

Ficha de recolección de datos

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		
	TESIS		
	UBICACIÓN:		TESISTAS:
	FECHA:		ASESOR:
FORMATO N°	<input type="text"/>		
DATOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN			
FUENTE:	A		
AUTOR(ES):			
TEMA:			
LUGAR:			
AÑO:			
RELEVANCIA:			
AUTOR 1	AUTOR 2	ASESOR	
FIRMA	FIRMA	FIRMA	
NOMBRE:	NOMBRE:	Docente:	
FECHA:	FECHA:	FECHA:	

Nota. La

figura 12, muestra el formato recolección de datos de las investigaciones seleccionadas para el estudio.

Por otro lado, con la segunda ficha se consideró en el apartado "B", el título de la investigación y el Tipo de investigación, en la parte "C" se creyó conveniente colocar el resumen de cada estudio, en la letra "D", se pensó clasificarlo si son cualitativas o cuantitativas y por último en el apartado "E" del formato se colocaron las conclusiones de los estudios lo que nos brindó información importante para este proyecto (ver Figura 13).

Figura 13

Ficha resumen de la investigación.

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
	FICHA DE RESUMEN				
	UBICACIÓN:		TESISTAS:		
	FECHA:		ASESOR:		
	TÍTULO DE ESTUDIO				
TIPO	<input type="checkbox"/> TESIS	<input type="checkbox"/> ARTICULO CIENTIFICO	<input type="checkbox"/> LIBRO	<input type="checkbox"/> REVISTA CIENTIFICA	B
RESUMEN					C
CLASIFICACIÓN	<input type="checkbox"/> CUANTITATIVA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> CUALITATIVA	<input type="checkbox"/>	D
CONCLUSIONES					E
AUTOR 1		AUTOR 2		ASESOR	
FIRMA		FIRMA		FIRMA	
NOMBRE:		NOMBRE:		Docente:	
FECHA:		FECHA:		FECHA:	

Nota. La figura 13, Formato resumen de las investigaciones seleccionadas para el estudio.

Por último, se elaboró la tercera ficha técnica, donde de obtuvo fichas técnicas 1, en la que se consideraron los siguientes datos: En la parte “F”, se colocó el nombre del tema, el país y la ciudad de la Investigación, en la letra “G” se consideró el tipo de estructura analizada, así como también el tipo de elemento estructural afectado, en el “H” se creyó conveniente mencionar los tipos de patologías encontradas en cada estudio, de igual manera se muestra el porcentaje de corrosión encontrado, finalmente en la letra “I” se clasifica según el estudio el grado de severidad de cada estructura analizada (ver figura 14)

Figura 14

Ficha técnica 1 de la investigación.

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE				
	FICHA TÉCNICA 1			
	TESIS			
	UBICACIÓN:		TESISTAS:	
	FECHA:		ASESOR:	

Tema:	<input style="width: 90%;" type="text"/>			F
Pais:	<input style="width: 60%;" type="text"/>	Ciudad:	<input style="width: 40%;" type="text"/>	

Tipo de Estructura	<input style="width: 80%;" type="text"/>			G	
Elemento Estructural					
Viga	<input type="checkbox"/>	Columnas	<input type="checkbox"/>	Muro de concreto	<input type="checkbox"/>
Muro	<input type="checkbox"/>	Losa	<input type="checkbox"/>	otros	<input type="checkbox"/>

Tipos de Patologías						H
Grieta	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> %	Eflorescencia	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> %	
Erosión	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> %	Vegetación	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> %	
Disgregación	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> %	Carbonatación	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> %	
Fisuras	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> %	Humedad	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> %	
Desgaste	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> %	Agentes atmosfericos	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> %	
CONCECUENCIA DE LAS PATOLOGIAS		Corrosión	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> %		

Niveles de Severidad				I
Level	<input type="checkbox"/>	Severo	<input type="checkbox"/>	
Moderado	<input type="checkbox"/>	Grave	<input type="checkbox"/>	

AUTOR 1	AUTOR 2	ASESOR
FIRMA	FIRMA	FIRMA
NOMBRE:	NOMBRE:	Docente:
FECHA:	FECHA:	FECHA:

Nota. La figura 14, Ficha técnica 1 de las investigaciones seleccionadas para el estudio.

La ficha técnica 2 nos plantea los en la letra “J” el nombre de la investigación, el país y ciudad donde se desarrolló, en el apartado “K” menciona los objetivos de las investigaciones, y por último la letra “L” nos brinda los resultados de cada estudio, que serán de vital importancia para el desarrollo del guía. (ver figura 15)

Figura 15

Ficha técnica 2 de la investigación.

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
FICHA TÉCNICA 2					
	TESIS				
	UBICACIÓN:		TESISTAS:		
	FECHA:		ASESOR:		
Tema:	J				
País:		Ciudad:			
OBJETIVOS	K				
RESULTADOS	L				
AUTOR 1		AUTOR 2		ASESOR	
FIRMA		FIRMA		FIRMA	
NOMBRE:		NOMBRE:		Docente:	
FECHA:		FECHA:		FECHA:	

Nota. La figura 15, Ficha técnica 2 de las investigaciones seleccionadas para el estudio

2.4.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos

La técnica de análisis de datos que se empleó es la estadística descriptiva, que nos permite recolectar, analizar y caracterizar un conjunto de datos con el objetivo de describir las características y comportamientos mediante medidas de resumen, tablas o gráficos. (Requena Serra, 2014)

El instrumento que se utilizó para el análisis de datos fue mediante el Software Excel, por medio de tablas, gráficos comparativos, sobre la información recolectada en fichas de las diferentes investigaciones; tales como la estructura afectada, tipo de patologías, corrosión del acero y el grado de severidad en el que se encuentra.

Tabla 5

Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

	Técnica	Instrumento
Análisis de datos	Análisis	
	Estadístico	Microsoft Excel
	Descriptivo	

2.5. Procedimiento

2.5.1. Procedimiento de recolección de datos.

Para la recolección de investigaciones se procedió a buscar tesis, artículos, revistas científicas que se encuentre relacionado con la corrosión del acero como consecuencia de las patologías del concreto armado.

- **Revisión Bibliográfica.**

Después de haber leído las investigaciones se procedió a organizar en tablas donde se pudo administrar mejor la información para poder escoger las investigaciones.

Tabla 6

Tabla de recolección de investigaciones.

N°	Autor	Título	Año	Fuente	Link	Resumen	Palabra clave	Inclusión	Exclusión
1									
2									
3									

- **Criterios de inclusión y de exclusión.**

Luego de analizar las investigaciones obtenidas se procedió a la selección de estudios, para esto se tuvieron en cuenta algunos criterios como que tenga relación con la corrosión del acero como consecuencia de las patologías en el concreto armado, otro criterio fue que no tengan una antigüedad mayor a 15 años, salvo casos extremos se puede hacer una excepción si la información sería de mucha importancia, se podría incluir al estudio, así mismo, deben tener la información adecuada para poder desarrollar el estudio.

Posteriormente, se procedió a registrar las investigaciones en las Fichas de recolección de datos, fichas de resumen, fichas técnicas.

- **Aplicación de la Ficha de Recolección de datos.**

Se colocó la información de cada investigación como fuente, autor, tema, lugar, año y relevancia, son datos generales de los estudios.

- **Aplicación de la Ficha de Resumen.**

Se aplica esta ficha para organizar la información como el resumen donde presenta su metodología utilizada y conclusiones, clasificándolos en cualitativos y cuantitativos, todo ello nos brindará conceptos importantes para este proyecto.

- **Aplicación de la Ficha de Técnica.**

Por último, se aplicó la ficha de recolección técnica para obtener la información específica, datos como: el tipo de estructura afectada o estudiada, el elemento estructural dañado, así como el tipo de patología, el porcentaje de corrosión ocasionado y el nivel de severidad al que afecta este fenómeno.

2.5.2. Procedimiento de análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizó las hojas de Excel, en donde se juntó la información para poder identificar la cantidad de estudios encontrados por país y año de publicación, la distribución de las patologías más frecuentes según los estudios, el porcentaje de corrosión según cada patología, estructuras y elementos estructurales afectados por la corrosión y también se clasificó según el grado de severidad obtenido en cada estudio.

se elaboró la base de la información depositada en las fichas de recolección de datos, donde se recopiló los 36 estudios estimados, de la siguiente forma:

- **Cantidad de estudios recopilados por el País de origen.**

Por medio de la recopilación de datos en tablas y gráficos se organizó los distintos estudios encontrados teniendo en cuenta la ubicación donde se desarrolló cada estudio, considerando que estos fenómenos actúan diferentes en cada zonificación.

Tabla 7

Recolección de información por país.

<i>PAÍS</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>PORCENTAJE (%)</i>
<i>TOTAL</i>		

- **Cantidad de estudios recopilados por año de publicación**

Mediante la selección de información de cada estudio, se empezó a seleccionar las investigaciones que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión basados en la similitud del tema de la investigación para proceder a leer detalladamente cada una de estas, donde se tomó en cuenta la clasificación por año de publicación obedeciendo al orden de los 15 últimos años, haciendo la excepción de los artículos del 2001 y 2002, ya que es muy importante para el desarrollo del tema.

Tabla 8

Recolección de información por año de publicación.

<i>AÑO</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>PORCENTAJE (%)</i>
<i>TOTAL</i>		

- **Codificación de estudios.**

Para su facilidad de búsqueda, se procedió a crear una tabla con todos los estudios y colocándoles una codificación, esto nos brindó mejor manejabilidad del trabajo.

Tabla 9

Codificación de investigaciones

ESTUDIO	CODIGO
	I1
	I2

- **Análisis de la información de cada estudio, distribución de patologías más frecuentes.**

Por medio de tablas se organizó la información de los diferentes tipos de patologías encontradas en cada estudio, así como también se indicó el porcentaje de daño que estas causaron.

Tabla 10

Distribución de patologías más frecuentes según los estudios revisados

Código	Patologías	%

- **Información sobre el tipo de estructura y el elemento estructural al que afecta al acero por consecuencia de las patologías en el concreto armado.**

Mediante la recopilación de los estudios, se consiguió analizar cada uno de estos, logrando identificar el tipo de estructura y que elemento estructural es afectado por las patologías causando así la oxidación del acero.

- **Registro del nivel de severidad al que puede llegar alcanzar la corrosión en estructuras del concreto armado, por consecuencia de sus patologías.**

Por consecuencia de los análisis previos y por medio de la observación detallada, se llegó a clasificar el nivel de severidad de las estructuras de concreto armado encontradas en cada estudio.

- **Registro de información que ayudará con técnicas de solución, prevención contra este fenómeno.**

Mediante la evaluación realizada se recolectaron datos como los objetivos de las investigaciones y sus resultados el cual nos brinda métodos de solución y prevención ante este fenómeno

- **Comparación y análisis de datos.**

- **Comparación de las patologías encontradas en cada estudio y clasificados por tipo de patología y porcentaje de daño.**

Se compararon el porcentaje de daño ocasionados según el tipo de patologías, obteniendo el daño más frecuente, con el que determinaremos cuál de estas patologías es la que afecta más a las estructuras.

- **Comparación de grado de severidad en las distintas investigaciones.**

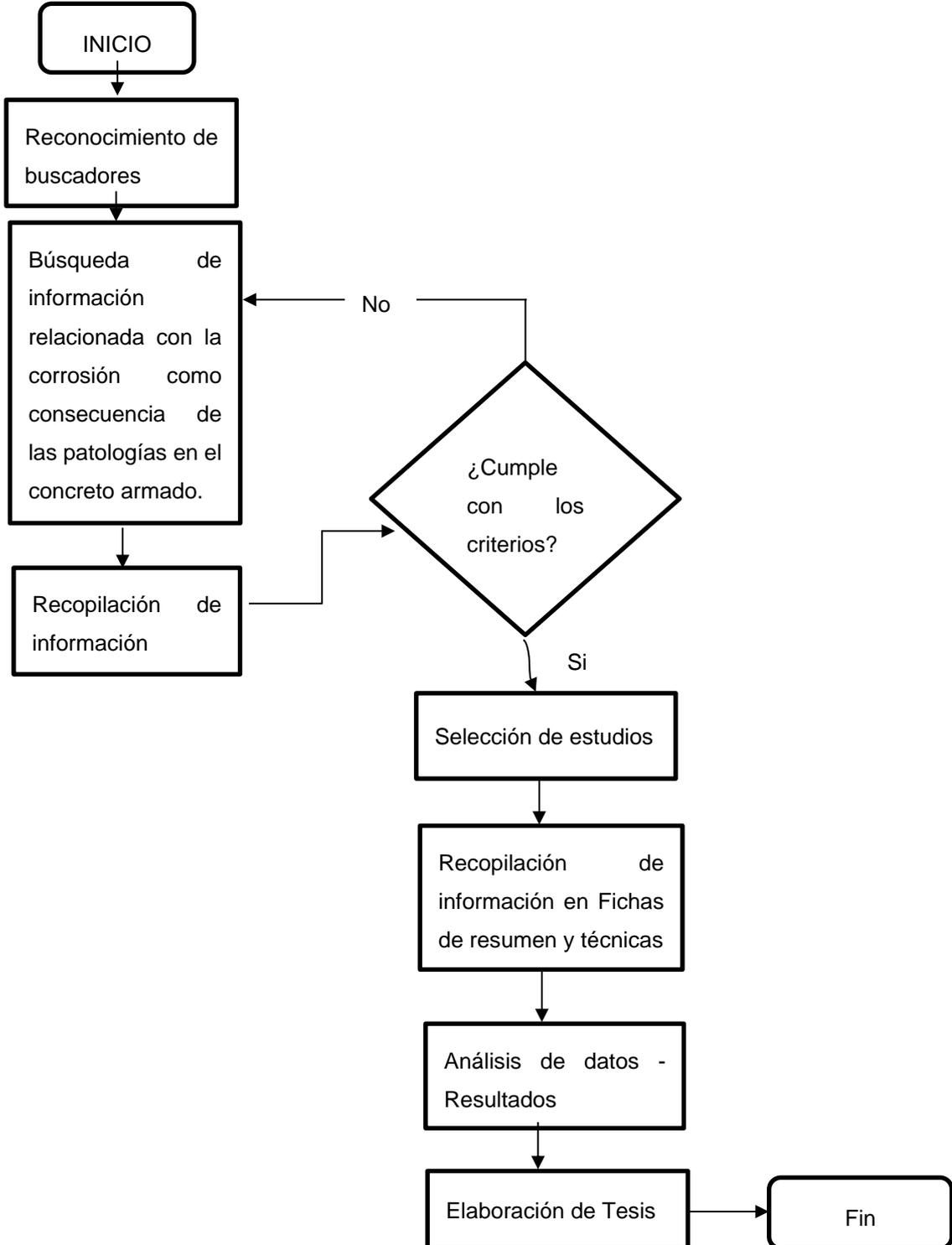
Se comparó el nivel de severidad de las distintas investigaciones para verificar si las estructuras pueden ser rehabilitadas o tienen que ser reconstruidas.

- **Planteamiento de la propuesta.**

Para el estudio de la corrosión del acero como consecuencia de las patologías del concreto armado, se realizará guía el cual nos servirá para brindarnos información, ya que este contendrá propuestas de rehabilitación y alternativas de prevención encontradas en cada estudio teniendo como finalidad emplear este documento en la industria de la construcción y el mantenimiento de estructuras de concreto armado.

Figura 16

Flujograma de la investigación



Nota. En la figura se puede observar las etapas de la investigación

2.1.1. Aspectos éticos

Esta investigación es de tipo Descriptivo - no experimental, que se realizó por medio de la evaluación y el análisis de estudios ya definidos, de modo que fue desarrollada netamente en gabinete, por lo que no se realizó de manera experimental en campo, además no se atentará ni se alterará de ninguna manera contra el desarrollo de la vida tal como la conocemos, así mismo no se muestra ningún tipo de riesgo para la salud en el desarrollo de esta investigación.

Además, se investigaron las distintas normas como ACI 224.1R-93 perteneciente a la fisuración, EHE -08 que habla sobre la carbonatación, también tenemos a la norma de corrosión ACI 222R- 01 y por último la revista de Construction Chemicals , estas documentos nos brinda procedimientos de evaluación y control de los fenómenos anteriormente mencionados, los que nos permitieron verificar si las investigaciones analizadas siguen estos lineamientos, sin embargo se pudo observar que no todos cumplen con estos procedimientos.

Se sabe también que en la rama de la ingeniería los conocimientos avanzan a diario y en la actualidad estos nos brindan modernas tecnologías y procedimientos los que con llevan a un sin número de beneficios para los usuarios, por ello se ha salvaguardado en primer lugar, la propiedad intelectual de los autores, respecto a las teorías y conocimientos diversos; citándolos apropiadamente y precisando las fuentes bibliográficas en donde se encuentra referenciado, ya que ha sido redactado respetando las normas APA. Todos los resultados a presentar son realizados con responsabilidad y transparencia, sin ser alterados o manipulados cuando se ejecuta la toma de datos, de esta forma el análisis será veraz y se obtendrán resultados conforme a lo estudiado, seleccionado y evaluado.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Las tablas que a continuación se presentan son producto de los resultados de la búsqueda de la información que se realizó, teniendo en cuenta el uso de la técnica de revisión bibliográfica.

3.1. Aspectos generales de cada investigación.

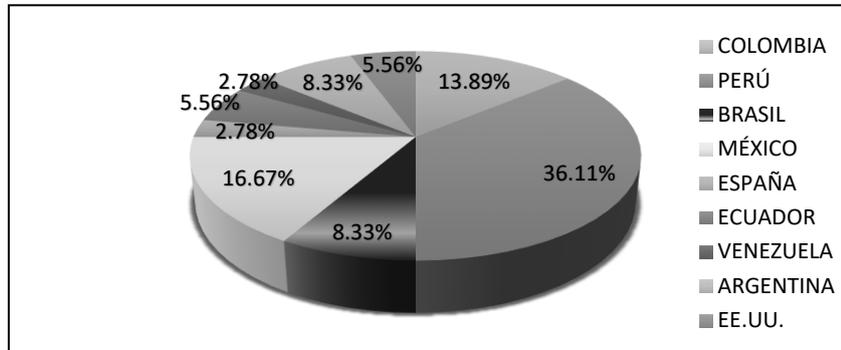
Tabla 11

Recolección de información por país.

<i>PAÍS</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>PORCENTAJE (%)</i>
<i>COLOMBIA</i>	<i>5</i>	<i>13.89</i>
<i>PERÚ</i>	<i>13</i>	<i>36.11</i>
<i>BRASIL</i>	<i>3</i>	<i>8.33</i>
<i>MÉXICO</i>	<i>6</i>	<i>16.67</i>
<i>ESPAÑA</i>	<i>1</i>	<i>2.78</i>
<i>ECUADOR</i>	<i>2</i>	<i>5.56</i>
<i>VENEZUELA</i>	<i>1</i>	<i>2.78</i>
<i>ARGENTINA</i>	<i>3</i>	<i>8.33</i>
<i>EE. UU</i>	<i>2</i>	<i>5.56</i>
<i>TOTAL</i>	<i>36</i>	<i>100</i>

Figura 17

Porcentaje según el país de cada estudio.



Nota. La figura 17, muestra las 36 investigaciones de distinta ubicación, se obtuvo como mayor resultado que el 36.11% pertenece a Perú.

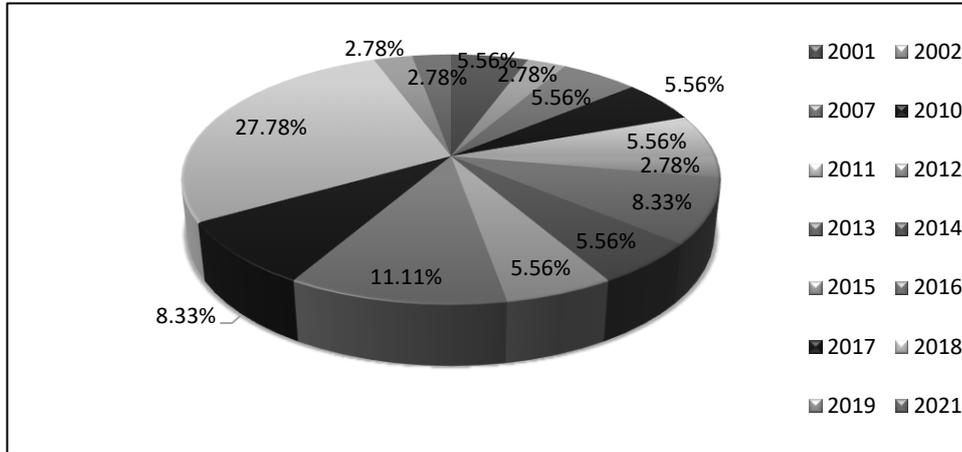
Tabla 12

Recolección de información por año de publicación.

<i>AÑO</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>PORCENTAJE (%)</i>
<i>2001</i>	2	5.56
<i>2002</i>	1	2.78
<i>2007</i>	2	5.56
<i>2010</i>	2	5.56
<i>2011</i>	2	5.56
<i>2012</i>	1	2.78
<i>2013</i>	3	8.33
<i>2014</i>	2	5.56
<i>2015</i>	2	5.56
<i>2016</i>	4	11.11
<i>2017</i>	3	8.33
<i>2018</i>	10	27.78
<i>2019</i>	1	2.78
<i>2020</i>	-	-
<i>2021</i>	1	2.78
<i>TOTAL</i>	36	100

Figura 18

Porcentaje de estudios por año de publicación.



De acuerdo a la revisión de los estudios a considerar en este proyecto hemos obtenido que el 27.78% de ellos corresponden al año 2018; y contamos con investigaciones del año 2001, 2002 y 2007 que representan el 5.56%, 2.78% y 5.56% del total; se consideraron estas últimas por su relevancia y similitud con este proyecto.

A partir de esta tabla brindamos los datos propiamente dichos de los resultados de la investigación sobre la corrosión del acero como consecuencias de las patologías del concreto armado.

A continuación, se codificó a cada una de las investigaciones, para mejorar el manejo de la información y su fácil ubicación.

Tabla 13

Codificación de investigaciones

ESTUDIO	CODIGO
---------	--------

Determinación y evaluación de las patologías del concreto armado del reservorio apoyado r1, del distrito de Coischo, provincia de santa, departamento de Áncash	I1
Caracterización de las patologías de los puentes peatonales en la localidad de Usaquén	I2
Determinación y evaluación de las patologías de concreto armado del reservorio elevado r7 - Pachitea, capacidad 2,300 m3	I3
Evaluación de las patologías en viviendas de concreto armado en la urbanización Monterrico - distrito Jaén.	I4
Determinación y evaluación de patologías en las estructuras de concreto armado en el módulo n° 01 de la planta de tratamiento de agua potable del distrito de bellavista	I5
"Evaluación y determinación de patologías en las columnas de concreto armado de los pabellones i y ii de la institución educativa “la unión”-distrito la Unión.	I6
Evaluación de la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto armado en viviendas de la urbanización Chucuito.	I7
Análisis de principales causas de corrosión en estructuras de concreto armado de viviendas autoconstruidas en la urb. Manco Cápac.	I8
Determinación y evaluación de patologías en el puente Débora norte, ubicado en el progresivo km 66+282 de la carretera pe - 01n, distrito de Pariñas, provincia de talara.	I9
Determinación y evaluación de las patologías del concreto armado en los elementos estructurales del puente vehicular Simón Rodríguez, con una longitud de 423.80 mts, en el distrito de amotape, provincia de Paita.	I10
Determinación y evaluación de las patologías de concreto armado del reservorio elevado r11 - Miraflores, capacidad 700m3.	I11
Análisis De Patología Fenómeno De Carbonatación En Puentes De Concreto, En Las Localidades De Teusaquillo, Engátiva Y Fontibón	I12

Estructuras de concreto y corrosión del acero corrugado en la I.E. Niño Jesús de Praga distrito de SMP 2017	I13
Determinación Y Evaluación De Las Patologías Del Concreto En Columnas, Vigas, Sobrecimiento Y Muros De Albañilería Confinada Del Cerco Perimétrico De La Institución Educativa María Reina De La Paz, Distrito De Pariñas, Región Piura, Agosto – 2016	I14
Encuesta De Manifestación Patológicas En Estructuras De Concreto Armado En El Estado De Ceará	I15

Nota: La tabla 13, muestra que de los 15 proyectos analizados a través de la ficha técnica observamos que las estructuras más estudiadas son reservorios, puentes y viviendas.

Figura 19

Porcentaje de estudios por tipo de estructura afectada.

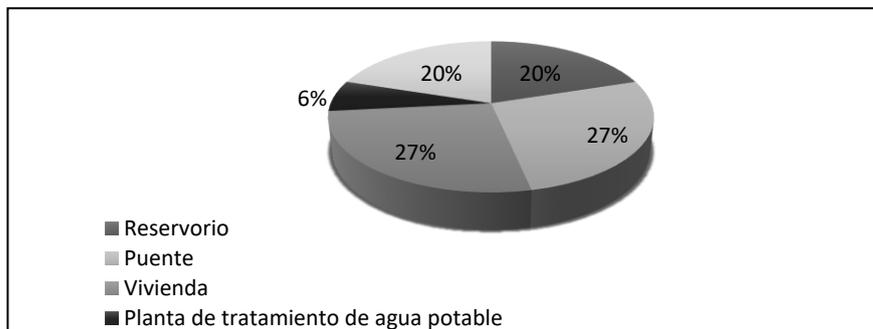


Tabla 14

Distribución de patologías más frecuentes según los estudios revisados

Código	Patologías	%
I1	<i>Eflorescencia</i>	7,2
I2	<i>Fisuras</i>	10.79
I3	<i>Eflorescencia</i>	9.94
I4	<i>Fisuras</i>	33
I5	<i>Erosión</i>	27.49
I6	<i>Fisuras</i>	20
I7	<i>Carbonatación</i>	14
I8	<i>Fisuras</i>	88
I9	<i>Desgaste</i>	34.78
I10	<i>Fisuras</i>	33.05
I11	<i>Eflorescencia</i>	16.83
I12	<i>Carbonatación</i>	95
	<i>Fisuras</i>	50
I13	<i>Carbonatación</i>	50
	<i>Humedad</i>	50
I14	<i>Eflorescencia</i>	52.66
I15	<i>Fisuras</i>	66.70

En los 15 estudios analizados se pudo observar que la patología más frecuente es la fisura representada por un 88%, seguida de la eflorescencia con un 52.66%, luego encontramos a la carbonatación con un 95%, finalmente se evidencia a las patologías de desgaste y erosión con 34.78% y 27.49% respectivamente.

Tabla 15
Porcentaje de corrosión según cada patología

Código	Patologías	Corrosión (%)
I15	<i>Fisuras</i>	96.7
I15	<i>Eflorescencia</i>	96.7
I8	<i>Grietas</i>	80
I5	<i>Erosión</i>	20.8
I5	<i>Disgregación</i>	20.8
I5	<i>Carbonatación</i>	20.08
I5	<i>Humedad</i>	20.08
I9	<i>Desgaste</i>	13.04
I2	<i>Vegetación</i>	7.39
I12	<i>Carbonatación</i>	NR

Se puede observar que el mayor porcentaje de corrosión es de 96.7% generado por las fisuras y eflorescencia, en segundo lugar, se encuentra las grietas originando un 80% de corrosión, seguidamente encontramos a la erosión y disgregación produciendo un 20.8% de corrosión, también se observa la presencia de las patologías de carbonatación y humedad con un 20.08% de corrosión, y finalmente al desgaste y vegetación con 13.04% y 7.39% de corrosión respectivamente.

En la siguiente tabla se detalla el tipo de estructura y el elemento estructural afectados por las patologías del concreto, las mismas que producen como consecuencia la corrosión del acero.

Tabla 16
Estructuras y elementos estructurales afectados por la corrosión.

Código	Estructura	Patología	Elemento estructural	Corrosión (%)
I1	Reservorio	Eflorescencia	Muro de concreto	7,76
I2	Puente peatonal	Fisuras	Viga y losa	7,39
I3	Reservorio	Eflorescencia	Estructura de soporte y cúpula	4,31
I4	Viviendas	Fisuras	Vigas, muros de concreto	4
I5	Planta de tratamiento de agua potable	Erosión	Vigas, losas, muro de concreto y pantallas	20,08
I6	Institución educativa	Eflorescencia	Columnas	-
I7	Viviendas	Carbonatación	Vigas columnas y losas	14
I8	Viviendas	Fisuras	Vigas, columnas y losas	80
I9	Puente	Desgaste	Viga losa, muro de concreto, vereda y apoyo	13,04
I10	Puente	Fisuras	Losa, estribos, pilares	1,03
I11	Reservorio	Eflorescencia	Soporte y cúpula	17,35
I12	Puente	Carbonatación	Columnas y Vigas	-
I13	Institución Educativa	Fisuras, carbonatación y humedad	Columnas, muros, vigas y losas	-
I14	Institución Educativa	Eflorescencia	Sobrecimientos, Columnas, vigas y muros	0,57
I15	Vivienda	Fisuras	Columnas	96,7

La presente tabla detalla que la estructura con mayor afectación fueron las viviendas producto de la aparición de fisuras generando 96.7% de corrosión en mayor proporción en el acero de las columnas, y un 80% de corrosión a las vigas, losas y columnas. Por otro lado, se identificó que la erosión afecta a la planta de tratamiento de agua potable con un 20.08% de corrosión, directamente en las vigas, losas, muros de concreto y pantallas. Así

también se observa que la patología de la eflorescencia perjudica al soporte y cúpula del reservorio con un 17.35% de corrosión, del mismo modo al muro de concreto con 7.76% de corrosión.

Otras de las estructuras afectadas son los puentes, por acción del desgaste generando un 13.04% de corrosión en viga losa, muro de concreto, vereda y apoyo, del mismo modo en el puente peatonal se presentan fisuras que ocasionan el 7.39% de corrosión en vigas y losas.

Finalmente se evidencia que los sobrecimientos, columnas, vigas y muros de la estructura de institución educativa fueron dañadas por la eflorescencia causando un 0.57% de corrosión.

Como se puede observar en la siguiente tabla se presentan los resultados del grado de severidad según el porcentaje de la corrosión.

Tabla 17
Clasificación por grado de severidad de la corrosión.

Código	Grado	(%)
I1	<i>Moderado</i>	
I2	<i>Moderado</i>	
I3	<i>Moderado</i>	
I4	<i>Moderado</i>	
I7	<i>Moderado</i>	
I9	<i>Moderado</i>	53.33
I10	<i>Moderado</i>	
I14	<i>Moderado</i>	
I5	<i>Severo</i>	
I8	<i>Severo</i>	20.00
I11	<i>Severo</i>	
I6	<i>NR</i>	
I12	<i>NR</i>	
I13	<i>NR</i>	26.67
I15	<i>NR</i>	
Total	15	100

Esta tabla nos muestra la cantidad de estudios que presentan el grado de severidad moderado con un valor del 53.33%, así mismo el resultado del grado severo fue el 20%, finalmente 26.67% de los estudios no refieren su grado de severidad.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Durante la ejecución de la investigación se observó que las patologías del concreto existen dentro de nuestra localidad, pero no hay suficientes estudios comprobados, por lo que se tomó como referencia ampliar el campo de investigación basándonos en tesis, artículos y estudios de diferentes regiones del Perú y otros países para poder enriquecer los datos obtenidos y profundizar con ellos. Así mismo, no se han realizado ensayos para verificar los resultados de cada estudio, solo se ha limitado el análisis temático para cada uno de estas investigaciones.

Otra limitante en nuestra investigación fue no contar con tablas estandarizadas de la evaluación de grados de severidad de las estructuras afectadas por la corrosión como consecuencia de las patologías del concreto armado según el análisis del grado de severidad de la corrosión, ya que cada estudio cuenta con distintos criterios de evaluación para poder clasificar el grado de severidad, por lo que fue necesario analizarlos de forma general tomando los resultados tal cual se presentaban.

La presente investigación tuvo como finalidad elaborar una "Guía para la prevención o rehabilitación de la corrosión del acero debido a las patologías del concreto armado", por ende, se revisó los trabajos de investigación que cumplieron con los criterios de selección.

En este estudio se identificaron las patologías más frecuentes, como se pudo observar en la distribución de patologías más frecuentes según los estudios revisados, Mancilla Guzmán & Chávez Mejía, en su estudio "Análisis de principales causas de corrosión en estructuras de concreto armado de viviendas autoconstruidas en la urb. Manco Cápac" presenta a las fisuras con un 88%, las que se produjeron por falta de

calidad del concreto, agentes agresivos del medio ambiente y la mala práctica al no cumplir con el recubrimiento adecuado, contrariamente a lo que Jiménez Cáceres en su trabajo de "Determinación y evaluación de las patologías del concreto en columnas, vigas, sobrecimiento y muros de albañilería confinada del cerco perimétrico de La Institución Educativa María Reina de la Paz, Distrito de Pariñas, Región Piura", encontró mayor frecuencia de eflorescencia con el 52.66%, que podría ser originado porque la humedad disuelve las sales en el concreto y las lleva a través de la acción capilar, hacia la superficie, así mismo, Bolívar García & Cañón Montoya en su investigación "Análisis de patología fenómeno de carbonatación en puentes de concreto, en las localidades de Teusaquillo, Engátiva y Fontibón", que consiguieron como resultado el 95% de carbonatación probablemente por la combinación de humedad en el cemento y el dióxido de carbono en el ambiente, lo que origina contracciones y disminución del pH. Estos resultados se debieron posiblemente al uso inadecuado de los materiales, por no seguir los procedimientos constructivos convenientes para el diseño de mezcla.

En los resultados del porcentaje de corrosión según cada patología, Da Silva & Bezerra Cabral en su estudio "Encuesta de manifestación patológicas en estructuras de concreto armado en el estado de Ceará", encontraron que las patologías de fisuras, se originan por esfuerzos de tensión que superan los esfuerzos del concreto, también se ocasionan por el deficiente recubrimiento del acero y malas prácticas en la relación a/c (agua/cemento), además se identificó que la eflorescencia, se da por la presencia de sales solubles en el concreto a causa de la humedad, estos fenómenos lograron ocasionar el 96.7% de corrosión en el elemento de refuerzo. En cambio, en el estudio "Análisis de principales causas de corrosión en estructuras de concreto armado de viviendas autoconstruidas en la urb. Manco Cápac" de Mancilla Guzmán & Chávez Mejía,

menciona que la patología de mayor afección son las grietas, esto se produce porque el concreto se expande y contrae por los diferentes cambios de temperaturas y humedad, también por la consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente, lo que generó al elemento estructural el 80% de corrosión.

En cuanto a la interpretación comparativa de estructura y elementos estructurales afectados por la corrosión en la investigación de Da Silva & Bezerra Cabral, detalla que la estructura con mayor afectación fueron las viviendas, obteniendo el 96.7% de corrosión directamente en el elemento estructural de las columnas, este resultado se debió a que se llegaron a analizar 30 viviendas, por otro lado Mancilla Guzmán & Chavéz Mejía, nos dan a conocer que los elementos estructurales afectados por la corrosión en las viviendas son vigas, losas y columnas con un 80%, que se obtuvo al analizar la muestra de 25 viviendas, finalmente se puede deducir que ambos autores coinciden que el elemento estructural más afectado son las columnas.

Otra de las estructuras analizadas fueron los reservorios, según el estudio de Calderón Paredes donde obtuvo que los elementos estructurales afectados fueron el soporte y cúpula, con un porcentaje de corrosión de 17.35%, debido a la presencia de eflorescencia, así mismo esta patología también se encuentra presente en el estudio de Pinedo Blas, en este caso llega a afectar el muro de concreto del reservorio que se analiza, teniendo 7.76% de corrosión, esta variación de corrosión se podría deber a la falta de mantenimiento, ya que estos elementos están expuestos a la interperie y a frecuente contacto con el agua.

Asimismo se estudiaron las estructuras de puentes, donde Boulanger Neira analizó un puente vehicular, que se encontró afectado por la patología de desgaste, produciendo un 13.04% de corrosión en los elementos estructurales vigas, losas, muro de concreto,

vereda y apoyo, por otra parte Pulido Moreno; Rico León, analizaron 30 puentes peatonales obteniendo que la patología de fisuras produce el 7.39% de corrosión que afecta a los elemento estructurales vigas y losas, con estos resultados podemos interpretar que los elementos estructurales más afectado en los puentes son vigas y losas debido al desgaste producido por el alto tránsito de vehículos y peatones además del interperismo ambiental.

De acuerdo a los estudios analizados, en el resultado de clasificación por grado de severidad por la corrosión, se los clasificó teniendo en cuenta la cantidad de muestras evaluadas con respecto al grado de severidad, resultando que 8 estudios nos presentan el 53.33% del grado de severidad moderado, por el contrario 3 de ellos se encuentran tipificados con un grado severo representado por el 20%, esta evidente diferencia se debió a que cada investigación tomo criterios particulares para la clasificación del grado de severidad, presentando resultados indistintos.

Por otro lado también tenemos que Chuquija Vilca, Bolívar García y Cañón Montoya mencionan que para el análisis de la patología de la carbonatación, emplean el ensayo de una solución alcohólica de Fenolftaleína al 1% según las normas, Española EHE-08 y UNE 112011, el que nos permite identificar si la carbonatación es superior o inferior al recubrimiento del concreto, por otro lado, Marchena Córdova y Zapata Avalos en su investigaciones no realizan dicho ensayo para la obtención de la carbonatación, lo que nos permite evidenciar que no cumple adecuadamente con el procedimiento de la evaluación de la patología según las normas antes mencionadas, ya que sus resultados obtenidos solo fueron de una análisis visual, y por medio de tablas de excel.

Además, en el estudio de Mancilla Guzmán & Chávez Mejía, se pudo observar el procedimiento de evaluación de las fisuras, que consiste en identificar visualmente el

problema, reconocer las causas y tomar la medición del daño existente, podemos decir que cumple con el procedimiento adecuado según la norma ACI 224.1R-93, la que indica que para mejor precisión se debe utilizar el instrumento comparador, que sirve para medir anchos de fisuras, así mismo, esta norma menciona que existe otro tipo de ensayo no destructivo como los equipos ultrasónicos. Caso contrario en lo demostrado por Da Silva & Bezerra Cabral ya que en su investigación no siguieron ninguna normativa para realizar el análisis de evaluación de las patologías de fisuración, solo se basaron en encuestas, inspecciones visuales y recolección de información de distintas investigaciones.

Esta investigación tiene como implicancia la presentación de una guía sobre la caracterización de la corrosión del acero como consecuencia de las patologías en el concreto armado, donde describimos: capítulo 1 las bases teóricas, en el capítulo 2 se mencionan las técnicas de solución de las patologías de concreto armado y por último tenemos el capítulo 3, aquí se registra diferentes métodos o técnicas de prevención de las patologías y corrosión, información que está dirigida a estudiantes y profesionales en ingeniería civil para que sea empleada en la práctica diaria ya que permitirá prevenir o rehabilitar estructuras que presente algún tipo de problema relacionado con la corrosión (**ver anexo n°05**), de la misma forma servirá como referente para nuevas investigaciones así como también para la generación de nuevo conocimiento.

Realizando además una interpretación comparativa, tenemos que según la tesis realizada por Mancilla Guzmán & Chavéz Mejía titulada: "Análisis de principales causas de corrosión en estructuras de concreto armado de viviendas autoconstruidas en la Urb. Manco Cápac, SJLG"; nos proporciona un análisis observacional por medio de fichas técnicas de recolección de datos in situ en las que detallaron número de pisos, elemento estructural afectado y el nivel de daño ocasionado, también realizaron planos de ubicación

y uso de fotografías para una descripción más profunda, así mismo, la norma ACI 224.1R-93 "Causas, evaluación y reparación de fisuras en estructuras de hormigón", menciona el procedimiento adecuado para la evaluación de dicha patología, donde se pudo observar la siguiente metodología, observación in situ, registro de la ubicación y ancho de fisuras utilizando un esquema de estructuras, en el que se deberá detallar las observaciones tales como, los descascaramientos, armaduras expuestas, deterioro superficiales y manchas de óxido, si se sospecha que la corrosión de fisuración; la manera más sencilla es retirar parte de concreto para poder observar directamente.

En el estudio de la patología de carbonatación según la normativa EHE-08 "Instrucción del Hormigón Estructural" nos da a conocer la evaluación de esta patología, mediante la visualización utilizando un indicador de fenolftaleína que debe quedar disuelta en un disolvente adecuado tal como el alcohol isopropílico en una solución al 1%, este indicador debe ser aplicado en la superficie de la muestra de concreto lo que produce una coloración rosa oscura cuando está en presencia de pH alto, encima del valor estandarizado como límite 9.5, el ensayo realizado es recomendado solo para establecer un estimado de la profundidad que alcanzado la carbonatación; existen otros métodos como los electroquímicos, el uso de inhibidores de corrosión, que persiguen controlar la corrosión desde la superficie del concreto. Se pudo verificar que la investigación de Bolívar García & Cañón Montoya, intitulada "Análisis de patologías fenómeno de carbonatación en puentes de concreto en la localidades de Tesusaquillo, Engátiva y Fontibón" cumplen adecuadamente con los procedimientos de evaluación para la patología de carbonatación utilizando el método del indicador de fenolftaleína.

También tenemos la revista "Construction Chemicals", marca proveedora líder de aditivos, que nos brinda la medida de la eflorescencia, esta puede ser evaluada usando un

fotómetro manual, que sirve para medir el color de la muestra en el sistema de color CELab, el cual está definido por parámetros L, a y b, igualmente utilizan el método de espectrometría infrarroja y difracción de rayos X, otra herramienta de utilidad es la cámara de intemperie, la que acelera los efectos de exposición. Sin embargo, en la investigación de Jiménez Cáceres que lleva por título "Determinación y evaluación de las patologías del concreto en columnas, vigas, sobrecimientos y muros de albañilería confinado del cerco perimétrico, de la institución educativa María Reina de la Paz, distrito de Pariñas, Región Piura", se identificó que no cumple con ningún procedimiento de la revista mencionada para el análisis de esta patología, ya que solo utilizó como instrumento de evaluación la inspección visual y la recolección de datos.

Finalmente, la normativa ACI 222R – 01 denominada "Protección de metales en concreto contra la corrosión", no brinda la información que se utilizará para la evaluación del procedimiento de corrosión, tales como, inspección visual, estudio de delaminación, mediciones de coberturas de hormigón, análisis de contenido de iones de cloruro, pruebas de continuidad eléctrica, mapeo del potencial de corrosión y mediciones de humedad y resistividad del concreto.

Conclusiones

Se elaboró la guía para la caracterización de la corrosión del acero como consecuencia de las patologías en el concreto armado en la ciudad de Cajamarca.

Se consiguió identificar que las patologías más frecuentes en el concreto armado fueron las fisuras 88%, eflorescencia 52.66% y carbonatación 95%.

Se estableció que las patologías que genera mayor porcentaje de corrosión son fisuras y eflorescencia con un valor de 96.7% de corrosión.

Se estableció que la estructura más afectada fueron las viviendas y en ellas los elementos estructurales son las columnas con un porcentaje del 96.7% de corrosión.

Se clasificó que el grado de severidad según los 15 estudios analizados en diferentes estructuras, fue de grado moderado con un 53.33%, los cuales presentaron patologías como la eflorescencia, fisuras, carbonatación y desgaste, en los diferentes elementos estructurales.

Se logró identificar que no todos los estudios analizados cumplen con el procedimiento que establece la normativa.

REFERENCIAS

- Azabache Rios., R. (2018). *Determinación Y Evaluación De Las Patologías De Concreto Armado Del Reservorio Elevado R7 - Pachitea, Capacidad 2,300 M3.*
- Pinedo Blas, M. (2018). *Determinación Y Evaluación De Las Patologías Del Concreto Armado Del Reservorio Apoyado R1, Del Distrito De Coishco, Provincia De Santa, Departamento De Ancash.*
- Zapata Avalos, E. (2018). *Determinación Y Evaluación De Patologías En Las Estructuras De Concreto Armado En El Módulo N° 01 De La Planta De Tratamiento De Agua Potable Del Distrito De Bellavista, Provincia De Sullana, Departamento De Piura.*
- Aguilar Villareal, J. C. (2013). *Influencia Del Deterioro Por Corrosión Del Acero Sobre La Realcalinización Del Concreto Refezado Cabonatado.*
- Alacero. (2014). Obtenido De Alacero:.
- Arqhys. (2017). Obtenido De https://www.arqhys.com/decoracion/caracteristicas_del_hierro.html
- Bilbao Alba, J. Z. (2009). *Patologías Del Concreto Armado .*
- Bolívar García, A. C., & Cañón Montoya, S. E. (2015). Análisis De Patología Fenómeno De Carbonatación En Puentes De Concreto, En Las Localidades De Teusaquillo, Engátiva Y Fontibón.
- Borja Suárez, M. (2012). *Metodología De La Investigación Científica Para Ingenieros.* Chiclayo.
- Boulangger Neira, J. (2018). *Determinación Y Evaluación De Patologías En El Puente Debora Norte, Ubicado En La Progresiva Km 66+282 De La Carretera Pe - 01n, Distrito De Pariñas, Provincia De Talara.*
- C.O'Neill, R., L.Hill, R., Barry Butler, W., G. Cabrera, J., L. Carrasquillo, R., E.Ellis, W., . . . Fidjesto, P. (2016). *Guía Para La Durabilidad Del Hormigón.*
- Calderón Paredes, K. (2018). *Determinación Y Evaluación De Las Patologías De Concreto Armado Del Reservorio Elevado R11 - Miraflores, Capacidad 700 M3 - Castilla, Piura.*
- Camejo Giniebra, J. J., Domínguez Domínguez, J., & Marrero Águila, R. (2014). *Apuntes Sobre Corrosión Y Protección Contra La Corrosión.*

- Ceballos Arana, M. A. (2016). *El Concreto, Material Fundamental Para La Infraestructura*.
- Chávez, A., & Unquén, A. (2019). *Método De Evaluación De Patologías En Edificaciones De Hormigón Armado En Punta Arenas*.
- Cheren, T. (2015). *Etapas De Oxidacion*.
- Chuquiya Vilca, Z. (2017). *Evauación De La Corrosión Del Acero De Refuerzo En Estructuras De Concreto Armado En Viviendas De La Urbanización Chucuito Callao 2017*.
- Chuquisa Vilca , Z. (2017). *Evaluación De La Corrosión Del Acero De Refuerzo En Estructuras De Concreto Armado En Viviendas De La Urbanización Chucuito*.
- Da Silva, L. K., & Bezerra Cabral , A. E. (2014). *Encuesta De Manifestaciones Patológicas En Estructuras De Concreto Armado En El Estado De Ceará*.
- Definición De Oxidacion. (2011).
- Díaz Gómez , C. (2002). *Principales Problemas De Patologias En Las Construcciones De Estructuras De Hormigón*.
- Farfán Mariñas, C. (2018). *Determinación Y Evaluación De Las Patologias Del Concreto Armado En Los Elementos Estructurales Del Puente Vehicular Simon Rodriguez, Con Una Longitud De 423.80 Mts, En El Distrito De Amotape, Provincia De Paita*.
- González Díaz, F. (2010). *Realcalización Electroquímica Del Concreto Reforzado Carbonatado: Una Opción De Prevención Contra La Corrosión*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Desarrollo De La Perspectiva Teórica: Revisión De La Literatura Y Construcción Del Marco Teórico*. Caracas.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología De La Investigación* .
- Hurtado Garcia, L. (2017). *Evaluación De Las Patologías En Viviendas De Concreto Armado En La Urbanización Monterrico - Distrito Jaén*.
- Ingenieros Asesores. (2015). *Patologías Del Hormigón: Que Son, Tipos Y Cómo Detectarlas A Tiempo*.

Instituto Mexicano Del Cemento Y Del Concreto, A.C. (2017). Patología Y Durabilidad Del Concreto. *Construcción Y Tecnología En Concreto*, 50.

Jiménez Cáceres , M. K. (2016). Determinación Y Evaluación De Las Patologías Del Concreto En Columnas, Vigas, Sobrecimiento Y Muros De Albañilería Confinada Del Cerco Perimétrico De La Institución Educativa María Reina De La Paz, Distrito De Pariñas, Región Piura, Agosto – 2016.

Karp, G. (1998). Biología Celular Y Molecular.

López, D. (2014). Obtenido De <https://Prezi.Com/Pwq1iwxad92g/Propiedades-Fisicas-Quimicas-Y-Mecanicas-Del-Acero/>

Mancilla Guzmán , A., & Chavéz Mejía, J. C. (2018). *Análisis De Principales Causas De Corrosión En Estructuras De Concreto Armado De Viviendas Autoconstruidas En La Urbanización Manco Cápac, San Juan De Lurigancho*.

Marchena Córdova , J. F. (2017). Estructuras De Concreto Y Corrosión Del Acero Corrugado En La I.E. Niño Jesús De Praga Distrito De Smp 2017.

Márquez, B. A. (2011). Evaluación De La Recalaminación De Estructuras De Concreto Reforzado Carbonatado: Descripción Del Comportamiento Postratamiento.

Mincetur. (2018). Reporte Comercial De Productos Acero.

Monroy, C. (2015). *Características De Los Materiales*.

Paredes , J., Prieto, J., & Santos, E. (2013). Corrosión Del Acero En Elementos De Hormigón Armado: Vigas Y Columnas.

Pineda, E. B. (1994). *Metodología De La Investigación* . México.

Porto Quintián, J. (2005). Manual De Patologías En Las Estructuras De Hormigón Armado.

Pulido Moreno; Rico León, B. (2018). *Caracterización De Las Patologías De Los Puentes Peatonales En La Localidad De Usaquéen*.

Requena Serra, B. (2014). Estadística Descriptiva.

Rodríguez Sierra, F. A. (2014). Uso De Polímeros En La Reducción De Patologías De Origen Químico En Las Estructuras De Concreto.

Rumbo Minero Internacional. (27 De Abril De 2021). Obtenido De Producción De Acero Aumentó 15.2 % A Nivel Mundial En Marzo:
<https://www.rumbominero.com/peru/noticias/internacionales/produccion-de-acero-aumento-15-2-a-nivel-mundial-en-marzo/>

San Miguel, G., Tamez, P., Alvarado, M., Alcorta, Garza, & Farias. (2012). *Deterioro Por Corrosión Del Elemento De Concreto Armado De Un Edificio Industrial*.

Sernaque Rivas, D. C. (2016). Evaluación Y Determinación De Patologías En Las Columnas De Concreto Armado De Los Pabellones I Y II De La Institución Educativa La Unión Distrito De La Unión .

Técnicas De Control Y Evaluación De La Corrosión Para Estructuras De Hormigón Armado . (2019). *Patología Y Rehabilitación De La Construcción* .

Toirac Corral, J. (2004). Patología De La Construcción : Grietas Y Fisuras En Obras De Hormigón ; Origen Y Prevención.

ANEXOS

ANEXO N° 1. Ficha de Recolección de Datos.

 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		
	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		
	TESIS		
	UBICACIÓN:		TESISTAS:
FECHA:		ASESOR:	

FORMATO N°	
------------	--

DATOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN	
FUENTE:	
AUTOR(ES):	
TEMA:	
LUGAR:	
AÑO:	
RELEVANCIA:	

AUTOR 1	AUTOR 2	ASESOR
FIRMA	FIRMA	FIRMA
NOMBRE:	NOMBRE:	Docente:
FECHA:	FECHA:	FECHA:

ANEXO N° 2. Ficha Resumen.

 <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
	FICHA DE RESUMEN			
	TESIS			
	UBICACIÓN:		TESISTAS:	
FECHA:		ASESOR:		
TÍTULO DE ESTUDIO				
TIPO	<input type="checkbox"/> TESIS <input type="checkbox"/> ARTICULO CIENTIFICO	<input type="checkbox"/> LIBRO <input type="checkbox"/> REVISTA CIENTIFICA		
RESUMEN				
CLASIFICACIÓN	<input type="checkbox"/> CUANTITATIVA	<input type="checkbox"/> CUALITATIVA		
CONCLUSIONES				
AUTOR 1			AUTOR 2	ASESOR
FIRMA			FIRMA	FIRMA
NOMBRE:			NOMBRE:	Docente:
FECHA:			FECHA:	FECHA:

ANEXO N° 3. Ficha Técnica 1

	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		
	FICHA TÉCNICA 1		
	TESIS		
	UBICACIÓN:		TESISTAS:
		ASESOR:	

Tema:

País:

Ciudad:

Tipo de Estructura

Elemento Estructural

Viga	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	Columnas	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	Muro de concreto	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>
Muro	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	Losa	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	otros	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>

Tipos de Patologías

Grieta	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	%	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	Eflorescencia	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	%	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>
Erosión	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	%	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	Vegetación	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	%	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>
Disgregación	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	%	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	Carbonatación	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	%	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>
Fisuras	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	%	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	Humedad	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	%	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>
Desgaste	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	%	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	Agentes atmosfericos	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>	%	<input style="width: 100%; height: 15px;" type="text"/>

CONSECUENCIA DE LAS PATOLOGÍAS

Corrosión

 %

Niveles de Severidad

Level

Severo

Moderado

Grave

AUTOR 1	AUTOR 2	ASESOR
FIRMA	FIRMA	FIRMA
NOMBRE:	NOMBRE:	Docente:
FECHA:	FECHA:	FECHA:

ANEXO N° 4. Ficha Técnica 2

	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE		
	FICHA TÉCNICA 2		
	TESIS		
	UBICACIÓN:		TESISTAS:
FECHA:		ASESOR:	

Tema:

País: Ciudad:

OBJETIVOS

RESULTADOS

AUTOR 1	AUTOR 2	ASESOR
FIRMA	FIRMA	FIRMA
NOMBRE:	NOMBRE:	Docente:
FECHA:	FECHA:	FECHA:

Tabla 18

Recolección de información por tipo de estructura afectada.

<i>AÑO</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>PORCENTAJE</i> (%)
<i>Reservorio</i>	3	20.00
<i>Puente</i>	4	26.67
<i>Vivienda</i>	4	26.67
<i>Planta de tratamiento de agua potable</i>	1	6.67
<i>Institución Educativa</i>	3	20.00
<i>TOTAL</i>	15	100

Tabla 19

Resultados de tipos de patologías de cada estudio

PATOLOGÍAS	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15
<i>Grietas</i>	X			X	X	X		X	X	X					X
<i>Erosión</i>	X		X	X	X					X					X
<i>Disgregación</i>	X				X				X	X	X				X
<i>Fisuras</i>		X	X	X	X	X		X		X	X		X	X	X
<i>Desgaste</i>		X							X	X					
<i>Eflorescencia</i>	X	X	X	X		X				X	X			X	X
<i>Vegetación</i>		X													
<i>Carbonatación</i>					X		X					X	X		
<i>Humedad</i>		X	X	X	X				X	X	X	X	X		
<i>Agentes Atmosféricos</i>												X			

Tabla 20

Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias	
	I1	<i>Grietas</i>	0,13(%)	<i>Corrosión</i>
<i>Erosión</i>		0,5(%)		
<i>Disgregación</i>		2,07(%)		
<i>Eflorescencia</i>		7,2(%)		

Tabla 21

Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias	
	I2	<i>Fisuras</i>	10,79(%)	<i>Corrosión</i>
<i>Desgaste</i>		6,82(%)		
<i>Eflorescencia</i>		5,11(%)		
<i>Vegetación</i>		6,82(%)		
<i>Humedad</i>		7,39(%)		

Tabla 22

Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias	
	I3	<i>Erosión</i>	0,12(%)	<i>Corrosión</i>
<i>Fisuras</i>		0,42(%)		

<i>Eflorescencia</i>	9,94(%)
<i>Humedad</i>	7,28(%)

Tabla 23

Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

	Patologías		Consecuencias	
Código I4	<i>Grietas</i>	20(%)		
	<i>Erosión</i>	3(%)		
	<i>Fisuras</i>	33(%)	<i>Corrosión</i>	3(%)
	<i>Eflorescencia</i>	3(%)		
	<i>Humedad</i>	10(%)		

Tabla 24

Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

	Patologías		Consecuencias	
Código I5	<i>Grietas</i>	20,62(%)		
	<i>Erosión</i>	27,49(%)		
	<i>Disgregación</i>	22,18(%)		
	<i>Fisuras</i>	0,84(%)	<i>Corrosión</i>	20,08(%)
	<i>Carbonatación</i>	20,08(%)		
	<i>Humedad</i>	1,24(%)		

Tabla 25

Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias	
	I6	<i>Grietas</i>	10(%)	<i>Corrosión</i>
<i>Fisuras</i>		20(%)		
<i>Eflorescencia</i>		16,67(%)		

Tabla 26

Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias	
	I7	<i>Carbonatación</i>	14(%)	<i>Corrosión</i>

Tabla 27

Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias	
	I8	<i>Grietas</i>	84(%)	<i>Corrosión</i>
<i>Fisuras</i>		88(%)		

Tabla 28

Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias	
	I9	<i>Grietas</i>	8,7(%)	
<i>Disgregación</i>		4,35(%)		4,35
<i>Desgaste</i>		34,78(%)	<i>Corrosión</i>	(%)
<i>Humedad</i>		4,35(%)		

Tabla 29

Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias	
	I10	<i>Grietas</i>	0,84(%)	
<i>Erosión</i>		3,77(%)		
<i>Disgregación</i>		11,95(%)		
<i>Fisuras</i>		33,05(%)	<i>Corrosión</i>	1,03(%)
<i>Desgaste</i>		11,97(%)		
<i>Eflorescencia</i>		19,34(%)		
<i>Humedad</i>		5,19(%)		

Tabla 30
Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias
	Patología	Porcentaje	
I11	<i>Disgregación</i>	6,71(%)	<i>Corrosión</i> 17,35(%)
	<i>Fisuras</i>	0,16(%)	
	<i>Eflorescencia</i>	16,83(%)	
	<i>Humedad</i>	4,22(%)	

Tabla 31
Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias
	Patología	Porcentaje	
I12	<i>Carbonatación</i>	95(%)	<i>Corrosión</i> -
	<i>Humedad</i>	100(%)	
	<i>Agentes Atmosféricos</i>	25(%)	

Tabla 32
Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias
	Patología	Porcentaje	
I13	<i>Fisuras</i>	50(%)	<i>Corrosión</i> -
	<i>Carbonatación</i>	50(%)	
	<i>Humedad</i>	50(%)	

Tabla 33

Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias	
	I14	<i>Grietas</i>	0.34(%)	<i>Corrosión</i>
<i>Erosión</i>		38.36(%)		
<i>Disgregación</i>		1.84(%)		
<i>Fisuras</i>		5.84(%)		
<i>Eflorescencia</i>		52.66(%)		

Tabla 34

Resultado de los estudios que presentan vegetación.

Código	Patología	%	Corrosión (%)
I2	Vegetación	6,82	7,39

Tabla 35

Resultado de la corrosión del acero a causa de las patologías del concreto

Código	Patologías		Consecuencias	
	I15	<i>Fisuras</i>	66.70(%)	<i>Corrosión</i>
<i>Eflorescencia</i>		26.67(%)		

Tabla 36
Resultado de los estudios que presentan grietas.

Código	Patología	%	Corrosión (%)
I1	Disgregación	2,07	7,76
I5		22,18	20,08
I9		4,35	13,04
I10		11,95	1,03
I11		6,71	17,35
I14		1,84	0,57

Tabla 37
Resultado de los estudios que presentan erosión.

Código	Patología	%	Corrosión (%)
I1	Erosión	0,50	7,76
I3		0,12	4,31
I4		3,00	3
I5		27,49	20,8
I10		3,77	1,03
I14		38,36	0,57

Tabla 38
Resultado de los estudios que presentan disgregación.

Código	Patología	%	Corrosión (%)
I1	Grietas	13,00	7,76
I4		20,00	3
I5		20,62	20,08
I6		10,00	0
I8		84,00	80
I9		8,70	13,04
I10		0,84	1,03
I14		0,34	0,57

Tabla 39
Resultado de los estudios que presentan fisuras.

Código	Patología	%	Corrosión (%)
I2	Fisuras	10,79	7,39
I3		0,42	4,31
I4		33,00	3
I5		0,84	20,08
I6		20,00	0
I8		88,00	80
I10		33,05	1,03
I11		0,16	17,35
I13		50,00	0
I14		5,84	0,57
I15		66,7	96,7

Tabla 40
Resultado de los estudios que presentan desgaste.

Código	Patología	%	Corrosión (%)
I2		6,82	7,39
I9	Desgaste	34,78	13,04
I10		11,97	1,03

Tabla 41
Resultado de los estudios que presentan eflorescencia.

Código	Patología	%	Corrosión (%)
I1		7,20	7,76
I2		5,11	7,39
I3		9,94	4,31
I4		3,00	3
I6	Eflorescencia	16,67	0
I10		19,34	1,03
I11		16,83	17,35
I14		52,66	0,57
I15		26,67	96,7

Tabla 42

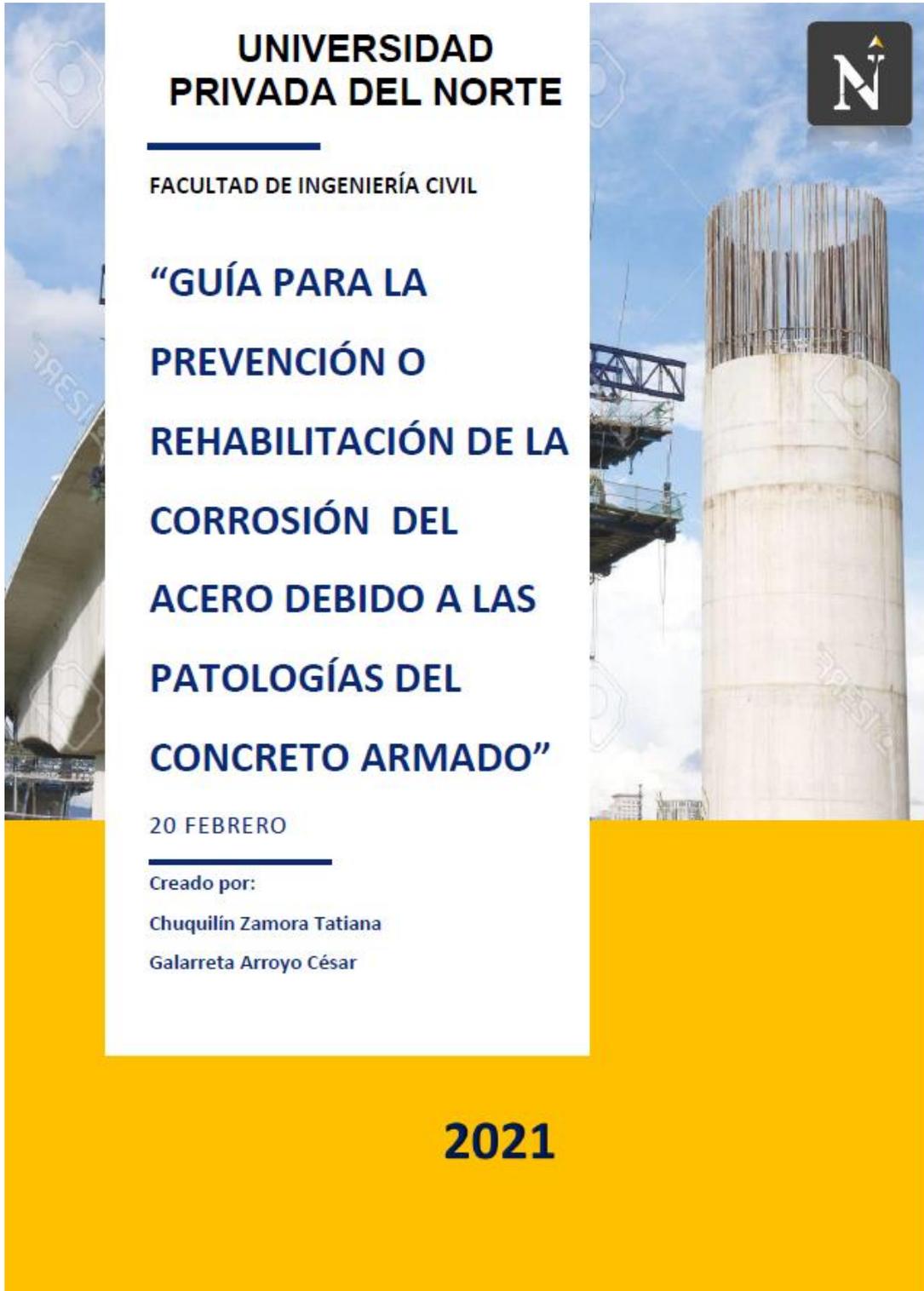
Resultado de los estudios que presentan carbonatación.

Código	Patología	%	Corrosión (%)
I5	Carbonatación	20,08	20,08
I7		14,00	4
I12		95,00	0
I13		50,00	0

Tabla 43

Resultado de los estudios que presentan humedad.

Código	Patología	%	Corrosión (%)
I2	Humedad	7,39	7,39
I3		7,28	4,31
I4		10,00	3
I5		1,24	20,08
I9		4,35	13,04
I10		5,19	1,03
I11		4,22	17,35
I13		50	0



**UNIVERSIDAD
PRIVADA DEL NORTE**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“GUÍA PARA LA
PREVENCIÓN O
REHABILITACIÓN DE LA
CORROSIÓN DEL
ACERO DEBIDO A LAS
PATOLOGÍAS DEL
CONCRETO ARMADO”**

20 FEBRERO

Creado por:
Chuquilin Zamora Tatiana
Galarreta Arroyo César

2021

INDICE

INTRODUCCIÓN	102
CAPÍTULO 1	103
CONCEPTOS TEÓRICOS	103
¿Qué es la corrosión?.....	104
¿Qué son patologías del concreto armado?.....	106
Tipos de patologías	107
<input type="checkbox"/> Fisuras	107
<input type="checkbox"/> La carbonatación	108
<input type="checkbox"/> Desgaste	109
<input type="checkbox"/> Grietas	109
<input type="checkbox"/> Erosión	110
<input type="checkbox"/> Disgregación.....	110
<input type="checkbox"/> Eflorescencia	111
<input type="checkbox"/> Vegetación.....	111
<input type="checkbox"/> Humedad	112
CAPÍTULO 2	113
ENSAYOS REALIZADOS Y EJEMPLO DE EVALUACIÓN.	113
CAPÍTULO 3	117
TÉCNICAS DE SOLUCIÓN DE LAS PATOLOGÍAS	117
<input type="checkbox"/> TÉCNICA DE SOLUCIÓN PARA FISURAS	118
<input type="checkbox"/> TÉCNICA DE SOLUCIÓN DE CARBONATACIÓN	120
<input type="checkbox"/> TÉCNICA DE SOLUCIÓN DE DESGASTE	123
<input type="checkbox"/> TÉCNICA SOLUCIÓN GRIETAS	124
<input type="checkbox"/> TÉCNICA DE SOLUCIÓN EROSIÓN	125
<input type="checkbox"/> TÉCNICA DE SOLUCIÓN DISGREGACIÓN.....	126
<input type="checkbox"/> TÉCNICA DE SOLUCIÓN EFLORESCENCIA	127
<input type="checkbox"/> TÉCNICA DE SOLUCIÓN VEGETACIÓN	128
<input type="checkbox"/> TÉCNICA DE SOLUCIÓN HUMEDAD.....	129
CAPÍTULO 4	130
TÉCNICAS DE PREVENCIÓN	130
REFERENCIAS	140

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el acero es el metal más usado para la construcción de estructuras de cualquier tipo, ya sea viviendas, puentes, edificios, etc. Es un material que al estar adherido con el concreto genera gran resistencia, brindando así estabilidad a la estructura, sin embargo, este proceso de construcción se ve afectado en los años por ambientes contaminados, como la concentración de cloruros y dióxido de carbono, también en algunos casos por la contaminación de químicos que arrojan algunas industrias, lo cual produce el deterioro de las estructuras, es decir la corrosión; existe influencia de las patologías del concreto armado en la corrosión del acero, lo que afecta gran parte en el desarrollo de la construcción y a lo largo del tiempo en su vida útil, esta problemática nos lleva a investigar las causas y las posibles soluciones ante este fenómeno.

CAPÍTULO

1.1. CONCEPTOS TEÓRICOS

1.4.1. ¿Qué es la corrosión?

La corrosión es el ataque químico o electroquímico a que están sometidos los materiales metálicos por la acción del medio que los rodea provocando el deterioro o pérdida del valor de uso de dicho material y por lo tanto de la pieza, equipo o aparato



Figura 01: oxidación del acero de

construido con el mismo. (Camejo Giniebra, Domínguez Domínguez, & Marrero Águila, 2014)

1. Según su naturaleza o mecanismo

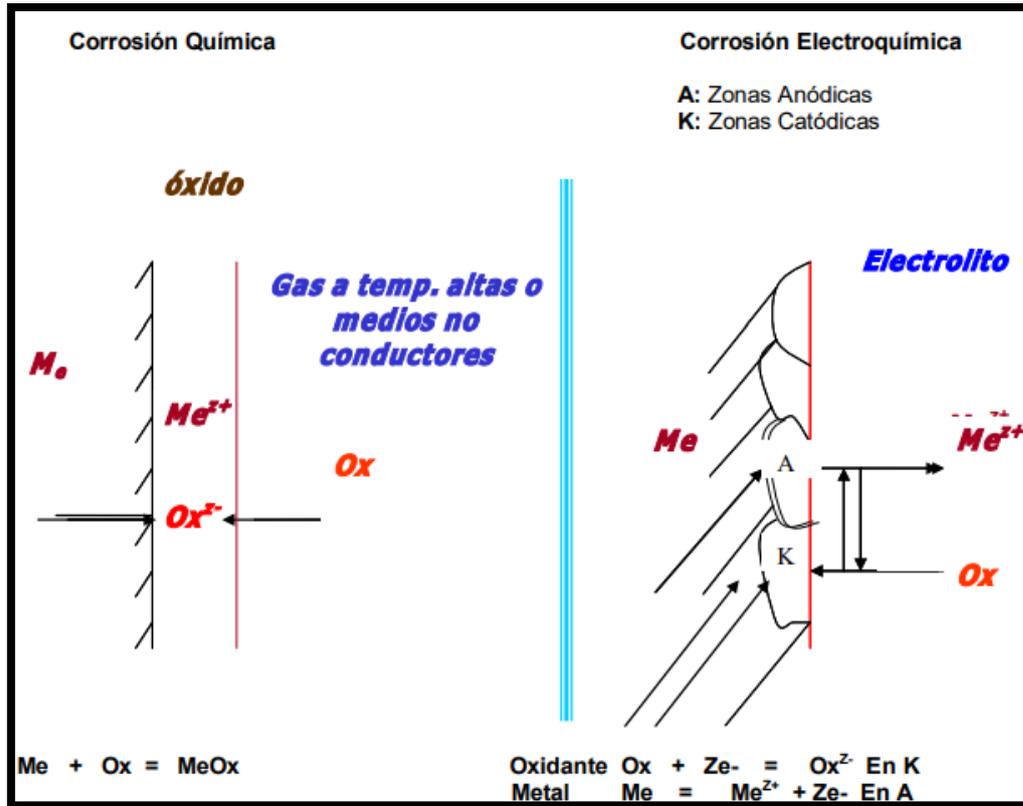
1.1. Corrosión química

El intercambio de electrones entre el metal y el oxidante se produce directamente en un "mismo punto" de la superficie metal-medio corrosivo. Es posible solo en ausencia de electrolito, o sea en ausencia de humedad; ejemplo: gases a altas temperaturas ($T > 120\text{ }^{\circ}\text{C}$), metales y sales fundidas. (Camejo Giniebra, Domínguez Domínguez, & Marrero Águila, 2014)

1.2. Corrosión electroquímica

El intercambio de electrones entre metal y el oxidante se produce en diferentes puntos de la superficie metal-medio corrosivo. La oxidación del metal (cede electrones) se produce en los puntos o zonas anódicas (A) mientras que la reducción del agente oxidante (capta electrones) se produce en los puntos o zonas catódicas (K). Los electrones que cede el metal al oxidarse en los puntos o zonas anódicas se mueven a través del propio metal hacia los puntos o zonas catódicas donde son captados por el agente oxidante para su reducción. (Camejo Giniebra, Domínguez Domínguez, & Marrero Águila, 2014)

Figura 02: Corrosión química y



Fuente: (Camejo Giniebra, Domínguez Domínguez, & Marrero Águila, 2014)

2. Velocidad de corrosión

La velocidad de los procesos de corrosión raras veces permanece constante en el tiempo. En algunos casos aumenta y en otros disminuye en el tiempo, lo cual es de gran importancia práctica. Así, por ejemplo, cuando los productos de corrosión son solubles la velocidad de corrosión permanece aproximadamente constante. Por lo contrario, cuando los metales al corroerse forman productos insolubles sobre su superficie, entonces tiende a disminuir su velocidad de corrosión con el tiempo debido a la formación de capas protectoras, capaces de dificultar el desarrollo del proceso de oxidación del metal, de reducción del agente oxidante o de ambos. La Formación de productos insolubles o poco solubles es más frecuente en medios neutrales y básicos, pero también es posible en medio ácido como ocurre con el hierro y otros metales que forman capas de óxidos muy protectoras en contacto con ácido sulfúrico o nítrico

concentrado. En contraste con esto, algunos productos insolubles como el sulfuro de hierro (FeS) aceleran la corrosión por ser porosos, buenos conductos eléctricos y actuar como cátodo respecto a metal base, en este caso el acero. Existen múltiples formas de expresar la magnitud o velocidad de un proceso de corrosión, lo que está determinado en primer lugar por los diferentes tipos de corrosión existentes lo que ha obligado a buscar la manera o el indicador más adecuado para reflejar la magnitud o intensidad del ataque. Cuando la corrosión es uniforme o generalizada lo más común es hacerlo a través del índice gravimétrico negativo, que expresa la cantidad de metal transformado por unidad de área y de tiempo. (Camejo Giniebra, Domínguez Domínguez, & Marrero Águila, 2014)

Índice gravimétrico o pérdida de peso:

$$DP = \frac{-\Delta P}{S \cdot t} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Área} * \text{Tiempo}} [g/m^2 h]$$

Donde:

t: Tiempo de exposición de la pieza al medio corrosivo.

P: Correspondientes al momento inmediatamente antes y después del periodo de exposición

S: Área superficial de la pieza.

1.4.2. ¿Qué son patologías del concreto armado?

La ciencia dedicada al estudio sistemático y ordenado de los daños y fallas que se presentan en las edificaciones, analizando el origen o las causas y consecuencias de ellos para que, mediante la formulación de procesos, se generen las medidas correctivas para lograr recuperar las condiciones de desempeño de la estructura. Algunos autores muestran su desacuerdo por el

término "patología", considerando más acertados los términos de Reparación y Mantenimiento. Los problemas patológicos en estructuras de concreto armado no son nuevos ya que empiezan a presentarse al aparecer el propio material. Por tanto, de manera sintetizada revisaremos algunos conceptos que nos permitirán entender mejor las diversas patologías del concreto y de sus componentes. (Bilbao Alba, 2009)

1.5. Tipos de patologías

- **Fisuras**

Ante todo, debemos asimilar que es un hecho que las obras de concreto armado se fisuran, aunque en la mayoría de los casos esta fisuración no compromete la resistencia de la estructura. Por tanto, la reparación de fisuras atiende a motivos estéticos, funcionales o de durabilidad. Sobre todo, de durabilidad ya que al aparecer una fisura aumenta el flujo de agentes externos como humedad o CO_2 que favorecerán la aparición de otras patologías como la corrosión de armaduras o la carbonatación. (Arquitectura y Edificaciones, 2015)

Figura 03: fisura en el concreto



Fuente Google

- **La carbonatación**

Figura 04: la carbonatación en el concreto armado



Fuente Google

Es uno de los principales problemas del concreto armado y se produce cuando el CO_2 del ambiente reacciona con el hidróxido de calcio de la mezcla para formar carbonato de calcio. La consecuencia es la bajada del PH y la corrosión de las armaduras metálicas. Es entonces cuando los hidróxidos se combinan con el carbono y el PH baja a niveles inferiores de 9 convirtiendo el medio en ácido, eliminando la protección pasiva de las armaduras y favoreciendo el proceso de oxidación. (Arquitectura y Edificaciones, 2015)

- **Desgaste**

El desgaste es una importante acción mecánica que afecta a los elementos de concreto que soportan tránsito intenso o conducen líquidos. Los factores que más influyen en la resistencia a la abrasión de este material son la dosificación de la mezcla, la resistencia de los agregados, el acabado y el curado (Solís Carcaño, Chan-Magaña, 2020)

Figura 05: Desgaste del concreto armado



Fuente Google

- **Grietas**

Figura 06: Grietas del concreto armado



Fuente Google

Las grietas y fisuras son roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente. Son muchas las causas que originan esta terrible enfermedad en el hormigón, las de origen químico, principalmente atribuidas a

cambios derivados por la hidratación del cemento o por la oxidación del acero de refuerzo, mientras que las de origen físico, mayoritaria por demás, obedecen a dos tipos de acciones que, aunque etimológicamente son totalmente diferentes, ambas producen cambios volumétricos significativos. Estos cambios son expansiones y contracciones, ahora bien, cuando los

elementos de hormigón están restringidos, la expansión origina esfuerzos de compresión y la contracción origina esfuerzos de tracción. El hormigón es particularmente débil ante este último tipo de esfuerzo, produciendo el agrietamiento cuando este sobrepasa sus valores de resistencia. (Toirac Corral J. , 2004)

- **Erosión**

La erosión del hormigón se manifiesta

de dos maneras: abrasión y cavitación. Ambas son típicas de las obras hidráulicas en las que el agua a gran velocidad provoca un desgaste superficial de la estructura; aunque la abrasión también aparece en pavimentos que sufren un paso continuo de vehículos. (Porto Quintian , 2005)

Figura 07: Erosión del concreto armado



Fuente Google

Figura 08: Disgregación del concreto armado



Fuente Google

- **Disgregación**

Las disgregaciones pueden producirse por causas muy diversas. Así la corrosión de armaduras o las muy fuertes, que producen disgregación del concreto superficial. También pueden producirse fenómenos de disgregación al helarse agua que haya podido penetrar en cavidades internas, causando así el desprendimiento de este.

- **Eflorescencia**

Son manchas blanquecinas de aspecto irregular que aparecen en superficies que han sufrido humedad. Cuando la superficie se seca y el agua se evapora se da la cristalización de algunas sales solubles que se encuentran en el agua y así aparecen las eflorescencias. Los principales causantes de este problema son las precipitaciones y la humedad y, por ello, para prevenir y tratar las manchas de eflorescencia será fundamental proteger las superficies frente a estos factores. (Eflorescencias: qué son y cómo se pueden prevenir y tratar, 2018)

Figura 09: Eflorescencia del concreto armado



Fuente Google

- **Vegetación**

Figura 10: Vegetación del concreto armado



Fuente Google

Se presenta por la presencia de microorganismos en las estructuras material vegetal, ya que estos aumentan la permeabilidad del concreto conduciendo a la saturación del material. Así mismo pueden ocasionar ataques químicos al concreto desencadenando desintegración de la pasta de cemento, manchas, expansión de materiales, olores

desagradables. (Pulido Moreno, 2018)

- **Humedad**

La humedad puede existir en forma de agua (cuando el hormigón está húmedo y los poros están saturados) o bien como vapor de agua. La cantidad de vapor de agua, y por lo tanto la humedad relativa dentro del hormigón, varía significativamente con el tiempo, a medida que el vapor de agua entra o sale del hormigón. (Guía práctica la humedad en el hormigón, 2018)

Figura 11: Humedad del concreto armado



Fuente Google

CAPÍTULO 2

1.2. ENSAYOS REALIZADOS Y EJEMPLO

Para analizar las patologías, es necesario en algunos casos realizar ensayos

Tipo de patología	Clasificación	Ensayos
Fisuración	Física	Inspección visual, uso de Equipos ultrasónicos y elementos no destructivos.
Carbonatación	Química	Ensayo de la solución de la fenolftaleína, electroquímicos, y el uso de inhibidores de corrosión
Desgaste	Mecánicas	Ensayo del esclerómetro
Grietas	Mecánicas	Contracción por secado
Erosión	Mecánicas	Inspección visual
Disgregación	Química	Inspección visual
Eflorescencia	Química	Ensayo del fotómetro manual, espectrometría infrarroja y la difracción de rayos X
Vegetación	Física	Inspección visual
Humedad	Física	Inspección visual

para su determinación según las normas ACI, EHE-08, EUROCOÓDIGO, ASTM, UNE

Fuente: elaboración Propia

Se puede observar a continuación un pequeño ejemplo de cómo se realiza el procedimiento de evaluación de la patología de la Carbonatación, siguiendo la

Normativa UNE 112011:94, titulado Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio.

1. Descripción

Este ensayo se emplea para determinar la carbonatación del hormigón de cemento Portland, dicho proceso consiste en la combinación del CO_2 con la portlandita presente en el hormigón produciéndose una desprotección química de las armaduras frente a la corrosión. El ensayo es simple y consiste en impregnar el hormigón próximo a las armaduras con un indicador de pH. El producto más empleado es una solución alcohólica de fenolftaleína al 1%, esto permitirá conocer si la carbonatación es superior o inferior al recubrimiento de hormigón. (UNE 112011:94, 1994)

2. Características del ensayo

- El ensayo se realiza en la obra, la forma de operar consiste en romper un trozo de hormigón del elemento de forma que deje a la vista la armadura y aplicar la solución de fenolftaleína, midiendo inmediatamente la profundidad de carbonatación. Otra posibilidad es realizar el ensayo sobre un orificio realizado con taladro.
- Las porciones extraídas no tendrán una geometría particular, y se ensayarán en seco.
- Los resultados son inmediatos, un cambio de color (rosado) en la superficie de aplicación indica que el hormigón no se encuentra carbonatado; por el contrario, si existe una parte de la sección en la que no se ha producido este cambio indica que la zona si está carbonatada.
- Se realizará la medida preferentemente en las zonas donde exista árido de pequeño tamaño y no es recomendable en las esquinas de los elementos de hormigón porque los ácidos atmosféricos han podido penetrar en las dos caras.

3. Fotografías



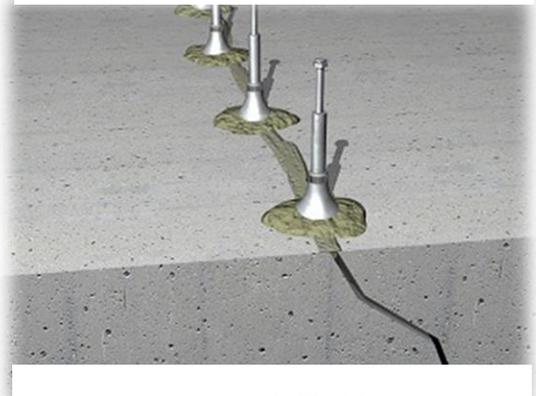
CAPÍTULO 3

1.3. TÉCNICAS DE SOLUCIÓN DE LAS

- TÉCNICA DE SOLUCIÓN PARA FISURAS

- Inyección de resinas epoxi, el primer paso para la aplicación de esta técnica es limpiar minuciosamente por aspiración o lavado con agua u otras soluciones de limpieza, luego sellar las superficies, si no se pudiese verificar el material posterior que constituya un sello adecuado, a continuación mezclar la resina epoxi previamente de acuerdo con las indicaciones del fabricante, cuidando la cantidad de mezcla con el adhesivo antes que el material se gelifique, seguidamente se inyectara la resina epoxi utilizando bombas hidráulicas, tanques de presión o pistolas neumáticas sin alterar la velocidad, presión y cantidad de inyectado para no aumentar la fisura, finalmente se retirará el sellado superficial o exceso según resulte adecuado.

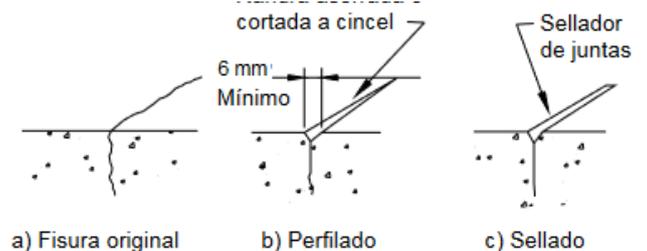
Figura 12: Inyección con resina epóxica



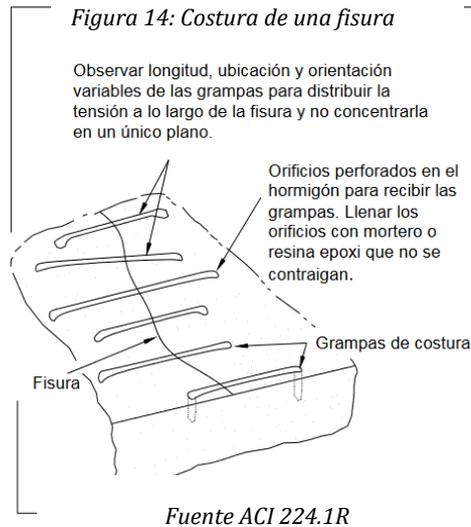
Fuente ACI 224.1R

- Perfilado y sellado de fisuras se puede aplicar en condiciones que requieran una reparación inmediata y cuando no es necesario efectuar una reparación estructural.

Figura 13: Reparación por perfilado y sellado de fisuras



Fuente ACI 224.1R



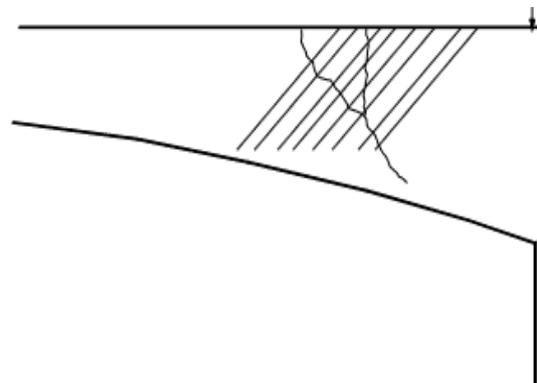
- Costura de fisuras consiste en perforar orificios a ambos lados de la fisura, insertar unidades metálicas en forma de U de patas cortas (grampas o bridas de costura) y asegurarlas con mortero. Se pueden utilizar costuras cuando es necesario restablecer resistencia a la tracción en fisuras importantes. Al coser una fisura la estructura tiende a volverse más rígida,

y esta rigidez puede aumentar la restricción global de la estructura provocando fisuración en otras partes del hormigón. Por lo tanto, puede ser necesario reforzar la sección o las secciones adyacentes.

- Armadura Adicional esta técnica consiste en

sellar la fisura, perforar orificios que intersequen el plano de fisuración aproximadamente a 90 grados, inyectando adhesivo epoxi en el orificio de la fisura hasta llenarlos y colocar una barra de armadura en el orificio perforado. Típicamente se usan barras No, 4 ó 5 (10 M ó 15 M), y se las extiende al menos 0,5 m a cada lado de la fisura. (ACI 224.1R-93, 1993)

Figura 15: Orientación de las barras de



Fuente ACI 224.1R

- Fisuración, eliminar la grasa y restos de materiales que pudiesen dificultar la adhesión del sellador, abrir las fisuras utilizando una espátula, luego limpiarlas con una brocha o enjuagarlas con agua para retirar el polvo, se aplica con brocha dentro de fisura abierta con un sellador multiuso diluido y se deja secar, luego se rellena con un sellador multiuso puro, nivelando con espátula, y se deja secar de 8 a 12 horas, se lija y se pinta. (Hurtado Garcia, 2017)
- **TÉCNICA DE SOLUCIÓN DE CARBONATACIÓN**

Figura 16: Reparación por carbonatación

- El más común es el que estipula quitar todo el concreto que ya no protege al acero y que está dañado; pudiéndose entonces limpiar y tratar al acero descubierto. Posteriormente, se podrá reconstruir la sección con un mortero de reparación especialmente comercializado para este fin. (EHE-08, 2013)

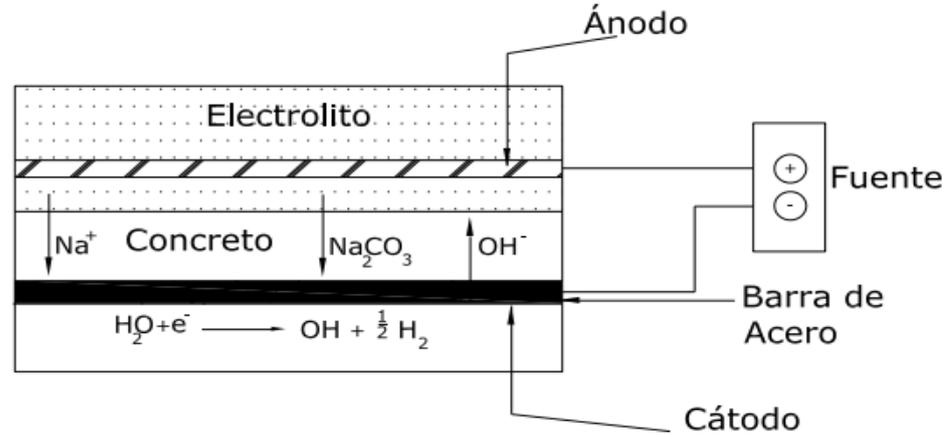


Fuente Google

- Es un método se da como consecuencia de la interacción del concreto y el dióxido de carbono (CO₂) del ambiente, la duración de la aplicación de la técnica es de alrededor de una semana, comúnmente son usadas densidades de corriente de entre 1 y 5 A/m² Los componentes de la aplicación de esta técnica son una fuente de corriente directa, un electrolito que puede ser carbonato de potasio (K₂CO₃) o carbonato de sodio (Na₂CO₃) y un ánodo externo provisional comúnmente de titanio. En la aplicación de esta técnica, la varilla de refuerzo actúa como cátodo, la cual debe cumplir el requisito (para la correcta aplicación de la corriente directa) de tener continuidad eléctrica a través de todo el refuerzo. La aplicación de la corriente produce reacciones catódicas al nivel de la varilla generando

iones hidroxilo en esta zona, esto aumenta el pH del concreto alcanzando valores superiores a 11.5

Figura 17: Reacciones que se presentan durante la realcalinización



Fuente Google

- Los procedimientos más utilizados para la rehabilitación de EHA (efectos del hormigón armado) mediante métodos electroquímicos se basan en la polarización catódica del acero y son:
 - ✓ Protección catódica (PC)
 - ✓ Extracción electroquímica de cloruros (EEC)
 - ✓ La realcalinización electroquímica (REA)

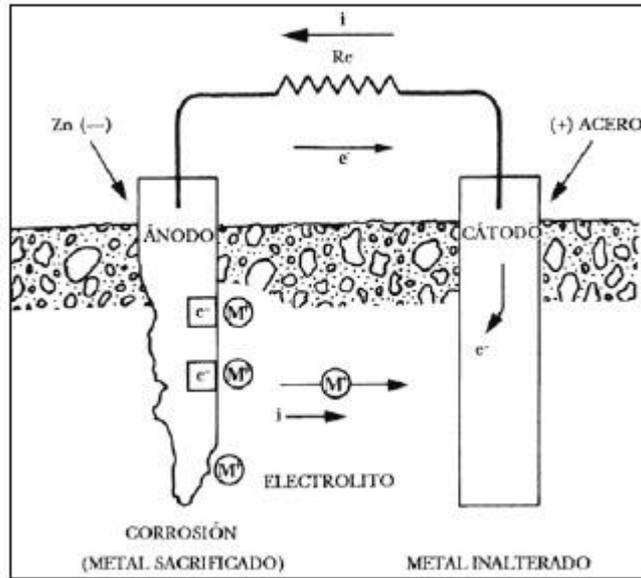
Figura 18: características de los tratamientos de rehabilitación electroquímica

	RAE	EEC	PC
Objetivo de la protección:	Pasivar el acero	Pasivar el acero Extraer cloruros	Actuar sobre el potencial
Duración de la polarización:	Temporal (3-24 días)	Temporal (6-10 semanas)	Permanente
Densidad de corriente sobre la superficie del hormigón:	0,8-2 A/m ²	0,8-2 A/m ²	3-20 A/m ²

Fuente: Tesis Doctoral (Esther Moreno)

La protección catódica es uno de los métodos electroquímicos que más se utilizan para evitar que exista corrosión en las estructuras, puede ser por ánodo de sacrificio el cual consiste en utilizar un elemento con una electronegatividad menor el cual actuará como ánodo, mientras que el elemento a proteger actuará como cátodo, produciendo así que el flujo de electrones vaya de cátodo a ánodo haciendo que el ánodo de sacrificio sufra el proceso de corrosión, otra forma es por corriente inversa el cual consiste en proporcionar corriente continua, el terminal positivo de la fuente debe conectarse a un ánodo auxiliar, mientras que el negativo se conecta a la armadura a proteger, produciendo así que el elemento a proteger actué como cátodo y así evita la corrosión. (Paredes, Prieto, & Santos, 2013)

Figura 19: Protección catódica con ánodo de sacrificio



Fuente Google

- TÉCNICA DE SOLUCIÓN DE DESGASTE

- Para los daños producidos por desgaste *Figura 20: Limpieza del concreto para mejorar adherencia*

de recubrimiento y carbonatación, se deben realizar un picado, limpieza y saneado de la zona, para eliminar residuos de sales, suciedad de oxido y acero corroído, proteger la zona del medio ácido que ha generado la carbonatación, para lo cual se debe aplicar productos como



Figura 21: Aditivo de resinas de alta adherencia



Fuente Google

pinturas que aumentan el PH en el entorno de la armadura, frenando la corrosión y protegiendo el acero ya limpio. Tratar con resinas de alta adherencia aplicadas sobre el hormigón seco, y finalmente

aplicar mortero de reparación en la zona sin recubrimiento. (Pulido Moreno, 2018)

- TÉCNICA SOLUCIÓN GRIETAS

- Si la grieta no tiene mucha profundidad, abrirla

en forma de "V", picando cuidadosamente el área afectada. Retirar o limpiar el polvo, partes sueltas o mal adheridas; luego humedecer la superficie con agua para promover la adherencia del material. Con la superficie aun



Figura 22: técnicas de grapas en muros

húmeda aplicar sellador epóxico. También se aplican aditivos especiales que existen en el mercado nacional. (Pinedo Blas, 2018)

Fuente Google

- En grietas, cortar con una maquina moledora la zona afectada, limpiar la superficie, debe estar libre de polvo, cubrir la zona con un pegamento elastomérico, colocar grapas de acero de $\frac{3}{8}$ o de $\frac{1}{2}$ cada 30 o 40 centímetros, colocar una la malla metálica toda la zona afectada, rellenar la zona afectada con mortero. (Hurtado Garcia, 2017)

• TÉCNICA DE SOLUCIÓN EROSIÓN

Erosión y Desprendimiento:
Limpiar la zona afectada con un cepillo metálico, eliminando partículas deterioradas que ya no son parte del elemento, aplicar la mezcla del concreto con el aditivo epóxico y unir el concreto

Figura 23: Unión de concreto nuevo con antiguo



Fuente Google

Figura 24: Aditivo Adherente entre concreto



Fuente Google

con el concreto nuevo, solo aplicable cuando el concreto tiene un nivel de deterioro leve de acuerdo a nuestro cuadro de nivel de severidad de patologías. (Zapata Avalos, Determinación y evaluación de patologías en las estructuras de concreto armado en el módulo nº 01 de la planta de tratamiento de agua potable del distrito de bellavista, provincia de Sullana, departamento de Piura, 2017)

• TÉCNICA DE SOLUCIÓN DISGREGACIÓN

Figura 25: Unión de concreto nuevo con antiguo



Fuente Google

- En la disgregación se debe picar el área de concreto armado dañada, eliminando partes sueltas y mal adheridas. Aplicar un aditivo para unir concreto antiguo con concreto nuevo. Colocar un mortero fluido de alta resistencia, mezclado con aditivo impermeable. (Pinedo Blas, 2018)

Figura 26: Aditivo Adherente entre concreto



Fuente Google

• TÉCNICA DE SOLUCIÓN EFLORESCENCIA

- La eflorescencia se debe limpiar utilizando métodos secos, por ejemplo, limpiando la superficie de concreto armado con un cepillo de cerda gruesa hasta eliminar los depósitos de eflorescencia. A demás, la superficie debe quedar limpia,

Figura 27: Impermeabilizante a base de pintura



Fuente Gooale

Figura 28: Aditivo líquido Impermeabilizante para mortero y concreto



Fuente Google

sin partes sueltas o mal adheridas, totalmente exentos de pintura, grasa, aceite, hongos y polvos. Dejar secar por un día, para luego aplicar un impermeabilizante a base de pintura con una brocha, en la superficie del muro armado. (Pinedo Blas, 2018)

• TÉCNICA DE SOLUCIÓN VEGETACIÓN

- La Corrosión, en vista que el acero esta sobreexpuesto a la intemperie y casi abarca todo el perímetro, se quiere eliminar más volumen de concreto. Escarificando áreas aledañas a la superficie de la corrosión, arenar las barras de acero corroídas hasta dejarles limpias de óxido, luego limpiar con chorro de agua o aire a presión media. Dejándolo lista para recubrir con mortero de gran resistencia. (Pinedo Blas, 2018)

Figura 29: Proceso de reparación con mortero de gran resistencia



Fuente Goale

• TÉCNICA DE SOLUCIÓN HUMEDAD

- En esta patología las zonas de accesos del agua, se sugiere, realizar limpieza y recubrir con pintura anticorrosiva, que sirva como medio de protección para dichos elementos, además se puede aplicar una mezcla de pasta de cemento sobre los poros presentes en el concreto, como medio de protección contra la infiltración de la humedad. (Pulido Moreno, 2018)

Figura 30: Colocación de pintura anticorrosiva



Fuente Google

CAPÍTULO 4

1.4. TÉCNICAS DE PREVENCIÓN

• TÉCNICA DE PREVENCIÓN

- El uso de sílice, aumenta la resistencia del concreto hasta un 25%, por otro lado, el uso de este mismo reduce la resistencia a la tensión hasta un 9%. (Rodríguez Sierra, 2014)
- El humo de sílice aporta hasta un 40% en la hidratación del concreto, en el transcurso de los 28 días genera una exudación positiva debido a la gran cantidad de absorción de agua. (Rodríguez Sierra, 2014)

Figura 31: Humo de Sílice



Fuente Google

- Con el uso de fibras de carbono en el concreto se reflejó el aumento de la resistencia a corte en vigas, en un incremento de 6 Ton con respecto a la carga de falla sin verse reflejada en ella ningún tipo de fisuración. (Rodríguez Sierra, 2014)

Figura 32: Fibra de carbono



Fuente Google

- El uso de fibras de polipropileno en el concreto permite reducir la fisuración del concreto y la permeabilidad, lo que genera la reducción en la corrosión de la armadura de acero. (Rodríguez Sierra, 2014)

Figura 33: Concreto de fibras de polipropileno.



Fuente Google

- La resistencia a la compresión con el uso de fibras de coco mostró que se presenta una alta resistencia con un volumen de 1.5 % de la mezcla, evitando la fisuración inmediata de la misma. (Rodríguez Sierra, 2014)

Figura 34: Concreto de fibras de Coco.



Fuente Google

- La fibra de bagazo de caña de azúcar aporta resistencia al concreto con un porcentaje comprendido entre el 0.5 y 2.5 del volumen del agregado grueso, una resistencia a la compresión a los 14 días de fraguado de 8.6 a 16.88 MPa con respecto a la muestra sin fibras. (Rodríguez Sierra, 2014)

Figura 35: Concreto de fibras de baaazo de caña.



Fuente Google

- Con respecto al espesor de la capa del galvanizado en caliente, en barra corrugada de acero Ø 3/8" galvanizado, cumple con la norma de espesor mínimo de revestimiento ASTM A-767 para Barras corrugadas, que es 86 µm. (100 µm. = 0,1 mm). (Cerdán Chávez & Baldomero Germán, 2018)
- Con respecto a la resistencia a la tracción, en las muestras de barra corrugada de acero Ø 3/8", galvanizado, comparando con las muestras de barras corrugadas de acero Ø 3/8", en calidad comercial negro, se determina, que, con el proceso de galvanizado en caliente de las barras corrugadas de acero, se pierde el 0,71 % de Esfuerzo de Fluencia y el valor promedio obtenido de 51,78 kg/mm², que está por encima del valor promedio, que es 48,95 kg/mm², del Esfuerzo de Fluencia según la norma ASTM A-615. (Cerdán Chávez & Baldomero Germán, 2018)
- Con respecto a la resistencia a la tracción, en las muestras de barra corrugada de acero galvanizado, comparando con las muestras de barras corrugadas de acero Ø 3/8", en calidad comercial negro, se determina, que, con el proceso de galvanizado en caliente de las barras corrugadas de acero Ø 3/8", se pierde el 0,50 % del Esfuerzo de Máximo de Rotura y el valor promedio obtenido de 71,62 kg/mm², que está por encima del valor

mínimo que es 63,20 kg/mm², de Máximo de Rotura, según la norma ASTM A-615. (Cerdán Chávez & Baldomero Germán, 2018)

- Con respecto de la Elongación, en las muestras de las barras corrugadas de acero Ø 3/8" galvanizado comparado con las barras corrugadas de acero Ø 3/8" en calidad comercial negro, se determina, que, con el proceso de galvanizado en caliente de las barras corrugadas de acero Ø 3/8", se pierde el 3,65 % en el promedio de elongación con relación a las barras corrugadas de acero de diámetro 3/8", en calidad comercial negro, según la norma ASTM A-615. Además, se evidencia por la forma de la fractura en las muestras ensayadas, que esta es, una fractura dúctil, ya que presenta deformación plástica y reducción de sección antes de la rotura.
- El costo del galvanizado de un acero por unidad, se eleva en promedio 54.04% con respecto al valor de una barra corrugada de acero comprado en un distribuidor por unidad. (Cerdán Chávez & Baldomero Germán, 2018)

Figura 36: Acero galvanizado.



Fuente Google

- La aparición de eflorescencias en el concreto es sin duda conseguir reducir su permeabilidad. Como se sabe, un concreto impermeable tiene mayores posibilidades de prevenir o retrasar la migración de las sales solubles. Para ello pueden tomarse algunas medidas, como pueden ser: usar agregados bien graduados (preferentemente granulometría continua); reducir la relación cemento arena; aumentar la densidad (para lo que son muy útiles los aditivos plastificantes), y compactar adecuadamente.

Figura 37: Relación cemento – arena correcta



Fuente Google

- Como tratamiento para evitar futuras eflorescencias y luego de haber removido todas las sales presentes, se pueden elegir entre los siguientes sistemas TOXEMENT, para prevenir la infiltración del agua hacia el concreto:
 - Impermeabilizaciones Acrílicas como AQUAZERO 5, 8 O 12 AÑOS.
 - Impermeabilizaciones de poliuretanos como los sistemas VULKEM.
 - Sellantes para placas de concreto como:
 - * EUCO TAMMOSHIELD: Recubrimiento transparente de poliuretano de dos componentes base acuosa, que proporciona protección, brillo y durabilidad.

Figura 38: Aditivo



Fuente Google

* EUCOSEALER 350: Es un producto diseñado para mejorar y resaltar el terminado de concretos de color endurecidos o estampados, dando propiedades de sellante y un acabado de alta calidad (Euclid Group Toxement, 2017)

Figura 39: Periodo de la iniciación de la corrosión sin protección y con inhibidores de corrosión



Fuente CODEMENT

- La aplicación de inhibidores en la protección de estructuras ya construidas se lleva a cabo directamente sobre las superficies del hormigón. El compuesto orgánico migra a través de la estructura porosa endurecida del hormigón llegando a la armadura por fenómenos de acción capilar, difusión de vapor y atracción iónica. Una vez alcanzada la armadura forma

una capa debido a un triple efecto: la separación de iones de las sales, reacción y enlaces con las superficies del metal y, por último, fijación de la capa por absorción física. Como consecuencia, se produce una drástica reducción de la corrosión al producirse un cambio de potencial en el área anódica y catódicas, por formación de una capa hidrofóbica que impide la penetración de iones cloruro y desplazando los que puedan estar presentes en la superficie del acero. En estructuras de nueva construcción, la aplicación de este sistema se lleva a cabo mediante la adición de inhibidores directamente durante el amasado del hormigón. (Paredes, Prieto, & Santos, 2013)

- El proceso de revestimiento consta de una limpieza de la barra con chorro de arena a fin de eliminar cualquier resto de suciedad, óxido o escamas de laminado y proporcionar una superficie con una determinada rugosidad (protuberancias del orden de 50 micras). Seguidamente, se calienta por inducción a una temperatura entre 190 y 240°C y se introduce en una cámara donde se somete a una lluvia de polvo epoxi cargada electrostáticamente, produciéndose la atracción de partículas que se funden, unen, fraguan y curan formando una capa inerte, termosellado y resistente a la abrasión, con un elevado nivel de adherencia. El espesor del recubrimiento suele oscilar entre 130 y 300 μm .

El recubrimiento se puede hacer mediante inmersión de las barras corrugadas en un baño que contiene resina, por aplicación de dos capas de 0.5-1 mm, de espesor sobre las armaduras utilizando brochas, rodillo o pistola, o mediante aplicación electrolítica.

Mostrando buena adherencia para resistir las operaciones de transporte y manipulación en obra, disponer de flexibilidad para cumplir con las especificaciones de doblado.

- En el caso en los que se pueda haber producido un deterioro del recubrimiento, causado por la manipulación de elementos, golpes o procesos de soldadura, este puede ser reparado mediante la aplicación de un spray a base de resinas. (Fernández, 2008)

-

Figura 40: Armadura recubierta con epoxy. Aplicación de aceros recubiertos con epoxy en muros.



Fuente Google

REFERENCIAS

- Pinedo Blas, M. (2018). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto armado del reservorio apoyado R1, del distrito de Coishco, provincia de Santa, departamento de Ancash.*
- Rodríguez Sierra, F. (2014). *USO DE POLÍMEROS EN LA REDUCCIÓN DE PATOLOGÍAS DE ORIGEN.*
- Zapata Avalos, E. (2017). *Determinación y evaluación de patologías en las estructuras de concreto armado en el módulo n° 01 de la planta de tratamiento de agua potable del distrito de bellavista, provincia de Sullana, departamento de Piura.*
- Arquitectura y Edificaciones. (2015). *Patologías del hormigón: que son, tipos y cómo detectarlas a tiempo.*
- Bilbao Alba, J. Z. (2009). *PATOLOGÍAS DEL CONCRETO ARMADO .*
- Camejo Giniebra, J. J., Domínguez Domínguez, J., & Marrero Águila, R. (2014). *Apuntes sobre corrosión y protección contra la corrosión.*
- Cerdán Chávez, & Baldomero Germán. (2018). *Influencia del galvanizado en caliente, en las propiedades mecánicas del acero de la barra corrugada, Norma ASTM A-615, Grado 60, para prevenir la corrosión en las estructuras de concreto armado.*
- (2018). *Eflorescencias: qué son y cómo se pueden prevenir y tratar.*
- Euclid Group Toxement. (2017). *Eflorescencia del concreto.*
- Fernández, E. M. (2008). *CORROSIÓN DE ARMADURAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN: ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA VARIACIÓN DE LA DUCTILIDAD EN ARMADURAS CORROÍDAS APLICANDO EL CRITERIO DE ACERO EQUIVALENTE.*
- (2018). *Guía práctica la humedad en el hormigón.*
- Hurtado Garcia, L. (2017). *Evaluación De Las Patologías En Viviendas De Concreto Armado En La Urbanización Monterrico - Distrito Jaén.*
- Karp, G. (1998). *Biología celular y molecular.*

Porto Quintian , J. (2005). Patologías en las estructuras de hormigón armado.

Pulido Moreno, B. (2018). CARACTERIZACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS DE LOS PUENTES PEATONALES EN LA LOCALIDAD USAQUÉN.

Solís Carcaño, Chan-Magaña, R. (2020). DESGASTE POR ABRASIÓN DEL CONCRETO CON AGREGADO CALIZO DE ALTA ABSORCIÓN.

Toirac Corral, J. (2004). *Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón ; origen y prevención.*