

BIOCORROSIÓN Y BIODETERIORO EN EL ACERO Y CONCRETO

JOSÉ MARIO GUTIÉRREZ PÁEZ

MARIO ANDRÉS MONTERREY BOTIA

DIPLOMADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y HERRAMIENTAS APLICADAS EN
RECURSOS HÍDRICOS

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

PAMPLONA NORTE DE SANTANDER

2022

BIOCORROSIÓN Y BIODETERIORO EN EL ACERO Y CONCRETO

JOSÉ MARIO GUTIÉRREZ PÁEZ

MARIO ANDRÉS MONTERREY BOTIA

MONOGRAFÍA DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR

Microb. JORGE LUIS ORTIZ CARRILO

INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

PAMPLONA NORTE DE SANTANDER

2022

Tabla de contenido

Lista de ilustraciones.....	6
Introducción	7
1. Generalidades	8
1.1. Justificación	8
2. Objetivos	9
2.1. Objetivo general.....	9
2.2. Objetivos específicos	9
CAPITULO 1. BIOCORROSION Y BIODETERIORO DEL CONCRETO	10
3. El concreto.....	10
4. Composición del concreto.....	10
4.1. Cemento	11
4.1.1. Propiedades químicas.....	12
4.2. Agregados	13
4.2.1. Clasificación según su tamaño.....	13
4.2.2. Clasificación según su procedencia	14
4.2.3. Clasificación según su densidad	15
4.3. Agua.....	16
4.4. Aditivos.....	16
5. Biodeterioro de materiales inorgánicos.....	17
5.1. materiales minerales.....	18
5.2. materiales calcáreos	18
5.3. materiales silíceos	18
5.4. materiales metálicos.....	19
6. Mecanismos de deterioro de materiales inorgánicos.....	19

	4
7. Biodeterioro del concreto	20
7.1. Organismos causantes del biodeterioro	22
7.1.1. Bacterias.....	23
7.1.2. Líquenes.....	24
7.1.3. Hongos	25
CAPITULO 2. BIOCORROSIÓN/BIODETERIORO DEL ACERO.....	26
8. Acero	26
8.1. Composición del acero.....	26
8.2. Propiedades del acero.....	27
9. Fenómeno de la corrosión.....	27
10. Generalidades de la corrosión.....	28
11. Procesos de corrosión en estructuras de concreto armado (Embebidas)	30
11.1. Tipos de corrosión.....	31
11.1.1. Corrosión por carbonatación	31
11.1.2. Corrosión por acción de cloruros	32
11.2. Prevención de la corrosión.....	33
12. Procesos de corrosión en el acero estructural	34
12.1. Tipos de corrosión de acuerdo a los dos procesos anteriores	35
12.1.1. Corrosión generalizada (uniforme)	35
12.1.2. Corrosión galvánica.....	36
12.1.3. Corrosión por picadura (pitting).....	38
12.1.4. Corrosión por cavitación	41
12.1.5. Corrosión por erosión.....	42
12.1.6. Corrosión por tensión.....	44
12.1.7. Corrosión microbiológica.....	46
13. Referencias bibliográficas.....	49

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Composición del concreto	11
Ilustración 2 composición del cemento	12
Ilustración 3 químicos en el cemento	13
Ilustración 4 clasificación según su tamaño	14
Ilustración 5 agregados según su densidad.....	15
Ilustración 6 tipos de aditivos en el concreto	17
Ilustración 7 biodeterioro del concreto.....	21
Ilustración 8 acción de microorganismos en el concreto.....	22
Ilustración 9 quimio autótrofos y fotoautótrofos.....	23
Ilustración 10 liquen en el concreto	24
Ilustración 11 hongos en el concreto	26
Ilustración 12 Representación de una celda electroquímica.....	29
Ilustración 13 Corrosión del acero en estructuras de concreto armado.....	31
Ilustración 14 Proceso de carbonatación	32
Ilustración 15 Equilibrios del ion cloruro en el concreto.	33
Ilustración 16 Corrosión uniforme	35
Ilustración 17 Corrosión galvánica.....	37
Ilustración 18 Corrosión por picadura.....	39
Ilustración 19 Corrosión por cavitación	41
Ilustración 20 Corrosión por erosión.....	43
Ilustración 21 Corrosión por tensión	45

Introducción

El proceso de corrosión es el desgaste o "descomposición" de los metales. De este modo, se entiende que es el proceso inverso de la metalúrgica. Esto se debe a que el material intenta volver a una condición menor de energía. Esto significa, que el metal disipa su energía (regresa a su estado originario); en cambio, el proceso metalúrgico implica agregar energía a los materiales para llevarlos a un estado estable, ya que en este estado se pueden utilizar en muchas partes.

De acuerdo con lo anterior, el mayor reto que desafía hoy en día la ingeniería es el aumento de materiales de construcciones con características que permitan mayor permanencia y solidez en las estructuras, debido a la corrosión de estos.

Dentro de los materiales de construcción más utilizados para varias clases de estructuras se encuentra el concreto, que es una mezcla de arena, grava, agua y cemento. Las propiedades de este pueden variar con respecto a ciertos aditivos que se le agregue. Para acrecentar su solidez, es común recurrir a refuerzos de barras de acero, el cual se conoce como concreto reforzado.

Por otro lado, los metales también son comunes en la construcción de obras civiles, el acero, es empleado como complemento universal en las armaduras. Los metales son susceptibles a la Corrosión, pueden variar de acuerdo con la naturaleza de este y al medio en el que se construya.

El presente trabajo realiza una investigación sobre la corrosión del concreto y del acero, con el objetivo de mostrar mecanismos para mitigar el deterioro que se presenta en estos materiales.

1. Generalidades

1.1. Justificación

El concreto y el acero son materiales utilizados en todo el mundo para construir todo tipo de estructuras de ingeniería, desde las edificaciones hasta las redes de alcantarillado. Estos productos son delicados a la corrosión, lo que conlleva a que los costos de reparación y sustitución sean muy altos. Cierta porcentaje de daños de estos materiales es producto de la acción de los organismos microscópicos, el cual se conoce como biodeterioro que puede intervenir a una o varias especies microbianas. La relación de factores ambientales y biológicos conducen al deterioro del material y por ende a la estructura. Los microorganismos presentes en estos materiales contribuyen a este deterioro por medio de la excreción de desechos metabólicos, provocando que se desencadenen reacciones de oxidación-reducción, las cuales cambian las condiciones químicas del material.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Estudiar la biocorrosión y el biodeterioro en los materiales de construcción específicamente en el concreto y acero mediante un estudio detallado de artículos para determinar las causas, efectos y soluciones de mitigación de este deterioro.

2.2. Objetivos específicos

- Definir las clases de corrosión que afectan al acero y el concreto.
- Analizar cada uno de los tipos de corrosión.
- Reconocer los mecanismos que ayudan a suavizar la corrosión en el concreto y acero a fin de ser aplicados en dichos materiales en obra.

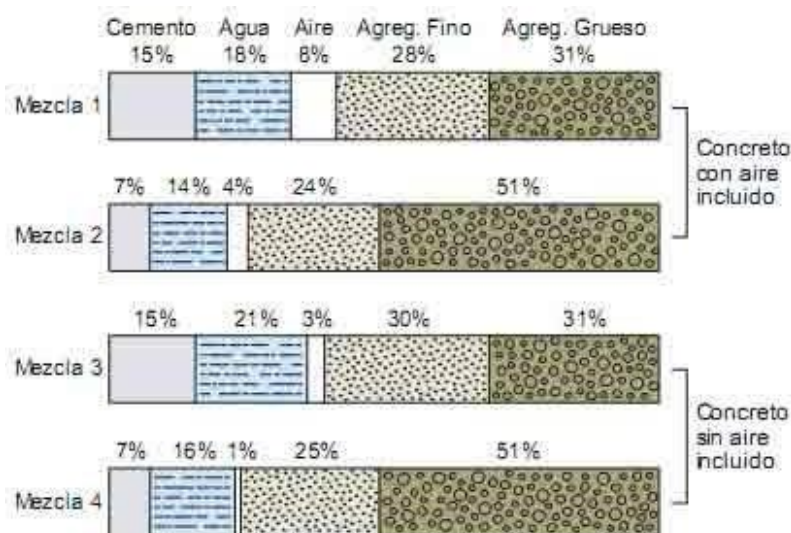
CAPITULO 1. BIOCORROSION Y BIODETERIORO DEL CONCRETO

3. El concreto

El concreto es sin duda alguna el producto más importante en la construcción y la base fundamental de cualquier obra; el cual es la mezcla de cemento portland, agregados y agua, también se le pueden añadir aditivos de acuerdo a su requerimiento necesario, ya sea estructural o ambientalmente, el concreto también está diseñado para soportar esfuerzos a compresión mas no a tracción pero siendo este muy práctico en el campo ingenieril debido a que posee características que permiten que sea muy fácil de manejar o moldear y además de esto también brindan resistencia al agua y al fuego; cabe resaltar que existen dos tipos de concreto portland que es utilizado en las construcciones y el concreto asfáltico el cual es utilizado en pavimentación, como también se puede anexar que su precio en cuanto a la producción es económico si se hace una comparación con otros materiales.

4. Composición del concreto

El concreto se conforma de cuatro ingredientes los cuales son agua, arena, grava y cemento; el primero se obtiene de las lluvias y los otros tres del suelo, de estos cuatro el cemento es el único que presenta algo de complejidad en su obtención, el tipo de cemento más utilizado es el portland y los agregados representan un 65% y el cemento un 25% de la composición del concreto, sin embargo, este puede variar dependiendo del uso el cual se le va a dar o el destino final del concreto; las características tanto físicas como químicas del concreto dependerán de los atributos que tienen los materiales que componen el concreto y también parte fundamental es el nivel de hidratación que recibe el cemento, ya que entre menor hidratación del cemento mayor será la porosidad que tendrá el concreto.

Ilustración 1 Composición del concreto

Fuente: (Valarezo, 2011)

4.1. Cemento

Es un material aglutinante, el tipo de cemento más utilizado es el portland que se hace a base de roca caliza, arcilla y mineral de hierro, los cuales son fundidos a 1450 grados Celsius en donde se obtiene el Clinker que después se tritura con yeso y más aditivos (escoria, ceniza, volante, humo de sílice, puzolana y caliza) para producir ese polvo grisáceo conocido como cemento. El cemento de manera general se puede describir como un material que posee propiedades tanto cohesivas como también adhesivas, lo cual son capaces de juntar partes o fragmentos de minerales dentro de una mezcla el cual se convierte en una masa compacta, el cemento es fino y de un color gris, al final toma el nombre de cemento portland, este siendo el más usado en la construcciones de estructuras ya que es caracterizado por fraguar o endurecerse cuando entra en contacto con el agua lo cual nos permite la compactibilidad de los materiales para componer así el concreto.

Ilustración 2 composición del cemento

La composición del cemento



Fuente: (Imbabi et al., 2012)

4.1.1. Propiedades químicas

La composición química del cemento es parte fundamental cuando hablamos de corrosión o deterioro en el concreto, ya que conocer las propiedades del cemento me permite determinar razones o causas de alguna anomalía que presente el concreto por estar puesto a diferentes factores que afecten su calidad y resistencia. Por ende “los materiales principales que son utilizadas en la elaboración de Clinker deben contener Calcio, Sílice, Aluminio y Hierro. Dichos compuestos pueden encontrarse ya sea en forma de óxidos en cuanto a materiales principales o elementos básicos como los siguientes óxidos: óxido de calcio o cal, dióxido de sílice o silicato, óxido de aluminio o aluminato y óxido de hierro”. (Chipatecua, 2022)

Ilustración 3 químicos en el cemento

Nombre	Fórmula	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Fuente:(Chipatecua, 2022)

4.2. Agregados

El agregado es un material sólido que ocupa el espacio rodeado por la pasta de cemento, lo cual ofrece propiedades de resistencia mecánica, también me ayuda a controlar los cambios volumétricos que se presentan en la mezcla de la misma forma que también se involucra en el fraguado del concreto, por eso es la importancia de los agregados. Los agregados son materiales naturales que también se obtienen del producto de la trituración de rocas, la importancia de los agregados en el concreto es porque estos ocupan hasta $\frac{3}{4}$ del volumen del concreto, aproximadamente un 65% al 75% por metro cúbico, los agregados deben estar constituidos por partículas que sean limpias, resistentes o durables ya que por ende estas propiedades le permitirán desarrollar una correcta adherencia con la pasta de cemento y así garantizar la calidad del concreto.

4.2.1. Clasificación según su tamaño

Es importante saber que los conglomerados o agregados se les determinan en dos clases, finos y gruesos, a su vez en los dos grupos mencionados también se realiza otra clasificación, dicha clasificación se realiza a través de la granulometría la cual es la distribución del agregado de acuerdo con el tamaño de sus partículas, para lo cual se utilizan tamices

con aberturas ya estandarizadas, esta distribución se hace con el fin de conocer el tipo de proporción del agregado y así eliminar la mayor cantidad de vacíos posibles.(Sanchez, 2001)

Ilustración 4 clasificación según su tamaño

Tamaño de las partículas en mm (pulg.)	Denominación más corriente	Clasificación	Clasificación como agregado para concreto
Inferior a 0,002	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendable
Entre 0,002 - 0,074 (No. 200)	Limo		
Entre 0,074 - 4,76 (No. 200) - (No. 4)	Arena	Agregado fino	Material apto para producir concreto
Entre 4,76 - 19.1 (No. 4) - (3/4")	Gravilla	Agregado grueso	
Entre 19.1 - 50.8 (3/4") - (2")	Grava		
Entre 50.8 - 152.4 (92") - (6")	Piedra		
Superior a 152.4 (6")	Rajón, piedra bola		

Fuente: tomado de;(Sanchez, 2001)

4.2.2. Clasificación según su procedencia

La procedencia de los agregados según de la forma que se obtienen que ya sea de formanatural o por el contrario son agregados que se obtienen de manera artificial los podemos clasificar en dos grupos:

Agregados naturales: son todos aquellos agregados que son extraídos ya sea por explotaciónde fuentes naturales como lo son la sedimentación de arrastre fluviales (gravas de rio y arena) también la obtención de cantos rodados provenientes de glaciares y por último ya sea de canteraso piedras naturales, las cuales se pueden aprovechar a veces sin ningún tipo de transformación o por ende aplicar trituración mecánica para así obtener tamaños que sean requeridos. (Sanchez, 2001)

Agregados artificiales: son agregados obtenidos a partir de las fabricaciones el cual se toman los desechos de dichos procesos que son utilizados en la elaboración del concreto, estos agregados son sacados de procesos tales como limaduras de hierro, Clinker, arcillas expandidas, materiales procedentes de demoliciones, etc. Estos agregados pueden ser algunos más livianos u otras más pesados que los agregados naturales. (Sanchez, 2001)

4.2.3. Clasificación según su consistencia

Los agregados conforme a su consistencia dependen de la masa que contengan sus partículas esto por unidad de volumen y a su vez tomando en cuenta el volumen de los poros, el volumen de los agregados varía de acuerdo a su procedencia ya sean artificiales o naturales; esto lo que hace es una clasificación directamente al concreto afectando la densidad del mismo y determinando si es ligero, normal o pesado, que a su vez se elige dependiendo el uso y disposición final del concreto que se va a utilizar. (Sanchez, 2001)

Ilustración 5 agregados según su densidad

<i>Tipo de concreto</i>	<i>Peso unitario aprox. del concreto kg/m³</i>	<i>Peso unitario del agregado kg/m³</i>	<i>Ejemplo de utilización</i>	<i>Ejemplo de agregado</i>
Ligero	400-800	60-480	Concreto para aislamientos	Piedra pómez
	950-1.350	480-1.040	Concreto para rellenos y mampostería no estructural	Perlita
	1.450-2.000		Concreto estructural	
Normal	2.000-2.500	1.300-1.600	Concreto estructural y no estructural	Canto rodado Agregados de río
Pesado	2.500-5.600	3.400-7.500	Concreto para protección contra radiación gamma o X, y contrapesas	Piedra barita, magnetita

Fuente: (Sanchez, 2001)

4.3. Agua

El agua en una mezcla del concreto es la encargada de cumplir funciones principales el cual son dos, las cuales atribuyen a la humectación del cemento y también hacen de la mezcla sea más moldeable, de toda el agua que se utiliza para una dosificación parte de ella hidrata el cemento y los restantes en cuando aliteración no representa ninguna ya que al pasar del tiempo se va provocando la aparición de espacios vacíos los cuales disminuyen la resistencia y durabilidad delconcreto, es por eso que se debe calcular correctamente la dosificación en el concreto, dada la importancia del agua en una mezcla del concreto también es de vital importancia considerar la calidad de la misma; se debe considerar que esta tenga la calidad adecuada para su utilización, sisus características químicas indica que es posible el uso para consumo humano, entonces puede utilizarse en las mezclas de concreto, lo anterior se debe al daño que causan los agentes orgánicos e inorgánicos en el fraguado y la resistencia del concreto.

4.4. Aditivos

Son materiales distintos al agregado, cemento, agua y barras de refuerzo, el cual puede utilizarse ya sea antes o durante la mezcla de concreto, esto con el fin de cambiar algunas propiedades de la mezcla e incluso mejorarlas, ya que existen distintos tipos de aditivos entre los cuales hay dos muy comunes que son los retardantes y acelerantes; en los retardantes como lo indica hace que hará que el fraguado de la mezcla sea más retardado, por el contrario el acelerante hará lo opuesto, ya que como se menciona su función será acelerar el proceso de fraguado, aunque también y si se desea usar un concreto más fluido se utiliza se utilizara un plastificante. Estos aditivos al poseer caracteres químicos van a reaccionar con la mezcla y

activando dichas propiedades, es importante saber que en una mezcla de concreto por lo menos el 1% de dicha mezcla debería ser aditivo.

Ilustración 6 tipos de aditivos en el concreto

Tipos de aditivos químicos	
Tipo	Características
A	Actúan como reductores de agua
B	Actúan como retardadores del tiempo de fraguado
C	Actúan como acelerantes
D	Actúan como reductores de agua y retardadores de fragua
E	Actúan como reductores de agua y acelerantes
F	Actúan como reductores de agua de alto rango
G	Actúan como reductores de agua de alto rango y retardadores

Fuente:(Cayambe & Pérez, 2013)

5. Biodeterioro de materiales inorgánicos

El biodeterioro se concluye que es una afectación ya sea química o física que es causado por un ente biológico a materiales que pueden ser tanto inorgánicos como orgánicos. El biodeterioro trata de un daño de manera mecánica en la base del material y de esa misma forma genera un desprendimiento de este, el deterioro es causado por agentes biológicos de distintos tipos de naturaleza, provocando cambios no deseables en los materiales como lo son su aspecto estético en los materiales, pero más importante que lo estético son las alteraciones en las propiedades más relevantes que son su resistencia y su durabilidad.

5.1. Materiales minerales

Los materiales minerales son aquellos que han estado con el hombre a lo largo de la historia, son minerales que se encuentran en las rocas, estas son consideradas un recurso fundamental en la construcción y a su vez como un básico recurso natural, también es importante saber que un mineral debe ser estable a temperatura ambiente, debe estar representado por una fórmula química y por último no debe ser biogénico es decir que no se produce o resulta de actividades de organismos vivos.

5.2. Materiales calcáreos

Los materiales calcáreos poseen una gran cantidad de carbonato de calcio, es un material intervenido mayormente por seres bióticos. Los macroorganismos son grandes productores de materiales calcáreos debido a un producto de actividades metabólicas, esto dado por bacterias, hongos y algas.

5.3. Materiales silíceos

Los materiales silíceos reciben el nombre debido a minerales los cuales están compuestos por oxígeno y silicio, esto dos elementos son de los que más podemos encontrar en la tierra, una de las formas más comunes en cómo podemos encontrar estos minerales es en cristales o como comúnmente se conocen (cuarzo). Muchas obras están construidas con materiales silíceos, sin embargo, la composición de estos materiales posee concentración de silicatos y feldespatos, las cuales pueden ser susceptibles al deterioro de forma biológica o química esto en gran medida por la meteorización de dichas formas mencionadas. (Mariana Rodríguez-García et al., 2021)

5.4. Materiales metálicos

Los materiales metálicos se conocen desde la antigüedad incluso dando nombres a edades a través de la historia, estos suelen ser por lo general una aleación, estos materiales se encuentran en la corteza terrestre y la forma en la que se extraen es a través de la minería. Cuando hablamos de las propiedades de estos materiales incluimos lo que es la dureza, elasticidad, plasticidad, maleabilidad, ductilidad, tenacidad, etc. algunos de estos son buenos conductores eléctricos incluso unos poseen propiedades magnéticas. Estos materiales debido a la gran cantidad de propiedades que posee son muy usados en construcción, sin embargo, cuando hablamos de deterioro es común encontrar el oro, cobre, plata, hierro, bronce, acero, etc.

6. Mecanismos de deterioro de materiales inorgánicos

Según (Sánchez, 2001) los más importantes mecanismos de deterioro en lo que materiales inorgánicos se refiere esto debido a la actividad de microorganismos son:

- Deterioro físico
- Agresión por ácidos inorgánicos.
- Agresión por ácidos orgánicos.
- Agresión por químicos orgánicos. Responsables de producir inflamación e hidrólisis en los distintos materiales.
- Salinización producida debido a respuestas con ácidos como lo pueden ser orgánicos o inorgánicos. La salinización ayuda a mejorar la delicadez en cuanto a los ciclos de hielo – deshielo y la consecuente cristalización, lo que ocasiona un crecimiento en el volumen.

- Elaboración de elementos perjudiciales (sulfuro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno). Dichos elementos o compuestos ayudan a la creación de ácidos inorgánicos o como también puede ser a sulfuros metálicos y a su vez a oxidantes.
- Biofilm y daño biológico o contaminación de este. Los exopolímeros ocasionan deterioro o corrosión en cierta parte que se localiza, también puede producir la retención de agua en cuando a materiales porosos nos referimos, puede accionar en cuanto al agua hidrofobia en superficies, baja propiedad en lo que a calor, velocidad o crecimiento en la presión.
- Daño por exoenzimas. Dichos organismos pueden producir ruptura en elementos orgánicos en diminutas moléculas que pueden ser solubles en agua. Un sustrato inorgánico está expuesto a un daño si ciertos sustratos orgánicos son agregados.
- Actividad en que los agentes tanto quelantes como los compuestos que emulsionan. El quelato produce la disolución de iones, estos iones son metálicos y los compuestos emulsionantes hacen que crezca la solubilidad de ciertas sustancias ya sean insolubles o hidrofóbicas, convirtiéndolas en degradables con el medio ambiente.

7. Biodeterioro del concreto

Mediante la hidratación en el cemento, los silicatos de calcio hidratados se desarrollan en forma de fibras determinando las características mecánicas y la resistencia del concreto. Cuando se añade demasiada agua las partículas de cemento se mantienen separadas y menos entrelazadas lo cual esto provoca que todo el material sea más poroso. Debido a esta porosidad el concreto queda más expuesto a ataques de agentes químicos que pueden entrar a través de factores ambientales como el agua; de los ataques más comunes tenemos también el ataque del CO₂ que

se presenta en el aire, también el biodeterioro a raíz de los mencionados factores se producen comunidades microbianas causando colonización y deterioro siendo estas las causas más graves ya que produce daños tanto químicos como mecánicos. (Urrego, 2021)

Los microorganismos logran llevar la corrosión a través de estimulación de forma anódica por medio de reacciones, creación de ácidos, por provocación catódica, utilidad de los organismos microbianos de H_2S , por la degradación a través de agentes biológicos de las biofilm y también al crecimiento de la ductilidad en el medio líquido. (Ivanov & Stabnikov, 2017) En vista a la existencia de distintas clases de organismos como bacterias, hongos, animales e incluso plantas, son causantes del biodeterioro primeramente provocando daños en la parte estética provocado por los distintos pigmentos orgánicos y biopelículas coloreadas hasta provocar fisuras, grietas y descascara miento del concreto hasta tal punto de la destrucción de una obra o estructura. (Gámez-Espinosa et al., 2020)

Ilustración 7 biodeterioro del concreto



Fuente: (Uvietta, 2015)

7.1. Organismos causantes del biodeterioro

La gran mayoría de los grupos de los microorganismos provocan deterioro en materiales y rocas en el concreto y por ende en el ámbito de la construcción, ya sean microorganismos quimiosintéticos, heterótrofos o fotoautótrofos; los quimiosintéticos son aquellos que producen su alimento a través de sustancias que contengan ya sea hierro, hidrogeno, azufre y nitrógeno, por otra parte los heterótrofos son aquellos que usan el carbono como alimento y fuente de energía y por ultimo los fotoautótrofos que son esos los cuales pueden usar la luz como la obtención de la energía sintetizando también compuestos de ciertas sustancias inorgánicas.(Rendon Diaz Miron & Koleva, 2017)

Ilustración 8 acción de microorganismos en el concreto

Actividad	Efecto	Microorganismo
Presencia física	Decoloración y retención de agua	Algas, bacterias, hongos, líquenes y protozoos
Presencia física	Incremento en el crecimiento de organismos heterótrofos	Algas y bacterias fotosintéticas
Encimas hidrolíticas	Rompimiento de componentes	Hongos y bacterias
Encimas hidrolíticas	Degradación de aditivos	Hongos filamentosos
Crecimiento filamentosos	Desagregación del material	Hongos, <i>Actinomyces</i> , cianobacterias y algas
Producción de ácidos	Corrosión	Hongos y bacterias
Movilización de iones	Debilitamiento y disolución	Algas, bacterias, hongos, líquenes y protozoos
Quelación de iones constituyentes	Debilitamiento y disolución	Microorganismos productores de ácidos orgánicos

Fuente: (Gaylarde et al., 2003)

7.1.1. Bacterias

Las bacterias que tienen repercusión al deterioro de estructuras, son bacterias que corresponden particularmente a los grupos fotoautótrofos, quimio autótrofos y quimiorganotrofos, este tipo de bacterias provocan la liberación de ácidos como lo son el nítrico, sulfúrico y ácido nitroso que provocan un cambio importante en el pH del concreto y a su vez contribuyendo al deterioro. (Kakakhel et al., 2019) La agrupación de bacterias en áreas externas, bacterias que son fotosintéticas, las cuales se pueden relacionar con la elaboración o construcción de biofilms, segregación de ácidos tanto inorgánicos como también orgánicos que pueden ser corrosivos causando deterioro de manera mecánica, teñido no estético y algo desagradable en lo que estructuras se refiere, incremento de los poros, sobresalto en las dimensiones de poros, disposición y permeabilidad en el agua de los materiales minerales y por último la meteorización debido a causas por la obtención de calcio y construcción de nuevas etapas en distintos minerales. (Dakal & Cameotra, 2012)

Ilustración 9 quimio autótrofos y fotoautótrofos

Tipo de nutrición	Fuente de energía	Donador de e	Fuente de carbono	Ejemplos
Quimio-lito-autótrofos (quimioautótrofos)	Compuestos inorgánicos (H_2S , Fe^{2+} , CH_4 , H_2 , NH_4^+ , NO_3 , NO_2)		Inorgánica (CO_2)	Bacterias nitrificantes, muchas arqueas
Foto-lito-autótrofos (fotoautótrofos)	Luz	C. inorgánicos (S^{2-})	Inorgánica (CO_2)	Organismos fotosintéticos: cianobacterias, algas, plantas

Fuente: (Segui, 2019)

7.1.2. Líquenes

los líquenes son una combinación de lo que constituye algas verdes y hongos, lo que ocupa la gran parte del cuerpo y nutrientes es debido a los elementos fúngicos que a su vez también pueden ser simplificados por algas. Los líquenes tienen la capacidad de adaptarse a una gran variedad de factores ambientales lo cual provoca que sean capaces de introducirse considerablemente en las superficies del concreto. Los líquenes crecen como una biofilm que se logra identificar fácilmente en las superficies tanto de rocas como concretos, siendo estos los organismos más comunes en vivir en superficies expuestas, contribuyendo en gran medida al deterioro físico y químico; el aumento de los líquenes también puede ser beneficiado a través de desechos de animales principalmente las aves, ya que debido a los elementos que componen el excremento brinda enriquecimiento de los líquenes produciendo ácido carbónico de tal manera los líquenes pueden adherirse a gran medida y de esta manera penetrar los poros del concreto generando grietas y fisuras en el concreto o en rocas lo cual provoca daños significativos en las estructuras al punto de producir descamación o desprendimiento de la capa superficial de los elementos.(Dakal & Cameotra, 2012)

Ilustración 10 liquen en el concreto



Fuente: tomado de;(Construinnova, 2016)

7.1.3. Hongos

Los hongos para poder tener energía logran oxidar hierro, esta energía que obtienen la utilizan para hacer síntesis de biomasa esto a causa de la reacción redox, en caso de que haya insuficiencia de carbono; los hongos son microorganismos que pueden estar de forma oblicuas, las cuales identifican el conjunto de quimio heterótrofos los cuales se caracterizan por la apariencia de hifas tanto multicelulares como también las unicelulares. Los hongos llamados filamentosos se ligan ya sea a tanto daños físicos como también estéticos, esto provocando aparte de daño al concreto también daño a los seres humanos por causas toxicas y las más comunes que son las alergia; los hongos son mucho más versátiles en cuanto a microorganismos causantes del deterioro, ya que debido a dicha versatilidad son capaces de dominar una amplia diversidad de sustratos en materiales no solo presentes en concreto sino además en madera, rocas y metales, los cuales son de los principales causantes de daños debido a su gran potencial como agentes de biodeterioro, tanto así que los hongos tienen la capacidad de fusionarse con líquenes, bacterias y algas capaz de aumentar sus capacidades para así mejorar su capacidad de supervivencia en los materiales provocando que sea más difícil acabar con ellos.(Urrego, 2021).

Los hongos son capaces de cambiar y soportar la cara exterior de minerales en las rocas al generar la transformación de CaCO_3 en oxalato de calcio. La segregación de ácido como lo es el oxálico, logra activarse y responder con la calcita, conformado principalmente en varias mezclas de morteros, generando como respuesta la elaboración de CaC_2O_4 también conocido como oxalatos de calcio, en distintas fases de la hidratación, lo cual da la construcción de eflorescencias y como conclusión el desgaste de superficies.(Guerra et al., 2019)

Ilustración 11 hongos en el concreto



Fuente: (Wasabi, 20006)

CAPITULO 2. BIOCORROSIÓN/BIODETERIORO DEL ACERO

8. Acero

8.1. Composición del acero

Es una aleación de carbono y hierro en el cual se encuentran otros tipos de elementos tales como manganeso, fosforo, níquel, azufre cromo y demás; al añadir carbono al hierro en cantidades de más de 2.1% es cuando se produce la aleación conocida como acero.

Cada parte añadida a esta constitución causa efectos en las propiedades de este material y en como este reaccione a los procesos de fabricación. El grado del acero y las propiedades corresponden a las adiciones y variaciones, una composición bien proporcionada genera una resistencia mejorada.

8.2. Propiedades del acero

El acero se destaca en el campo de la ingeniería por sus propiedades mecánicas las cuales ofrecen capacidad de transmitir, resistir esfuerzos sin romperse y sin demasiadas deformaciones lo que lo hace un material excelente para el uso estructural.

Algunas propiedades genéricas del acero son la maleabilidad, ductilidad, tenacidad especialmente en las herramientas, se puede contraer, fluir o dilatar.

9. Fenómeno de la corrosión

Los materiales metálicos que se utilizan en la cotidianidad, como grifos, tuberías, edificios y todas las obras de construcción, tienen como base el acero o algún tipo de material metálico. Por lo tanto, se espera que estos metales sean resistentes a las acciones en la atmósfera y tengan un largo ciclo útil. Pero "los metales se degradan y pierden sus propiedades de varias maneras con el tiempo. Sin embargo, debido a que la atmósfera misma tiene oxígeno y otros elementos que reaccionan con el acero y lo descomponen lentamente, a menudo devolviendo el metal a una forma de óxido o sulfuro más estable." (Rodríguez et al., 1999). Porque la mayoría de estos materiales se obtienen de minerales estables en condiciones fundamentales. En consecuencia, tienden a volverse química y energéticamente estables cuando se exponen a las condiciones ambientales; este retorno espontáneo al estado natural se denomina corrosión.

En resumen, se puede definir como el daño gradual de los metales bajo la influencia del medio circundante, que conlleva al deterioro de sus propiedades físicas y químicas. (Ávila, 2002).

10. Generalidades de la corrosión

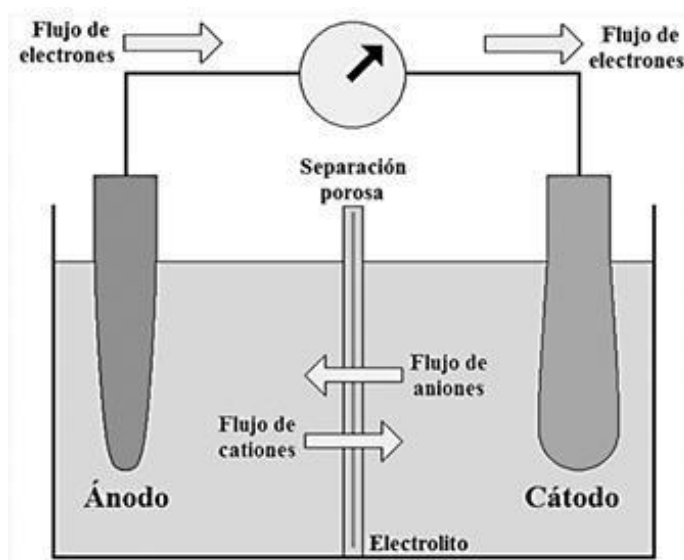
Debido a que estos materiales se obtienen procesando los minerales que componen su estado natural, son inducidos a estados de mayor energía. Este fenómeno se produce porque con el tiempo estos materiales intentan volver a su estado natural, bajando su estado energético y haciéndolos así termodinámicamente estables.

Hay muchas formas, por las cuales, el metal puede dejar de ser productivo, por ejemplo, puede diluirse despacio transformándose en otra especie (corrosión uniforme); también pueden formarse aberturas bajo ciertos términos al estar a un alto esfuerzo y medio agresivo ~~núb~~ ^{tracción} o compresión (corrosión bajo tensión) o pueden formar agujeros profundos que progresan rápidamente (corrosión por picadura). Así mismo, estos materiales sufren de fatiga, causando pérdida de resistencia (corrosión por fatiga). Finalmente, es un proceso, cuya mitigación es difícil, pero sobre el que es posible y practicable un control y protección al mismo. (Torres et al., 2009).

(ECCA, 2011) dice para que ocurran estos procesos de corrosión deben involucrarse a reacciones de redox. Para que se desarrolle esto, es necesario la presencia de tres aspectos: el

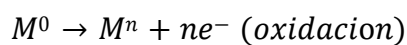
ánodo y cátodo que hace parte los electrodos, un medio conductor y por último una conexión eléctrica.

Ilustración 12 Representación de una celda electroquímica

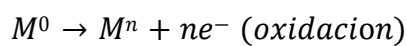


Fuente:(Salazar, 2015)

- Lo que ocurre en el ánodo:



- Lo que ocurre en el cátodo:



Ambas reacciones ocurren simultáneamente. En las ecuaciones, el ánodo reacciona liberando electrones en el sistema, incrementando su oxidación desde el metal en estado elemental a un catión disuelto en el electrolito, que es el material corrosivo; mientras

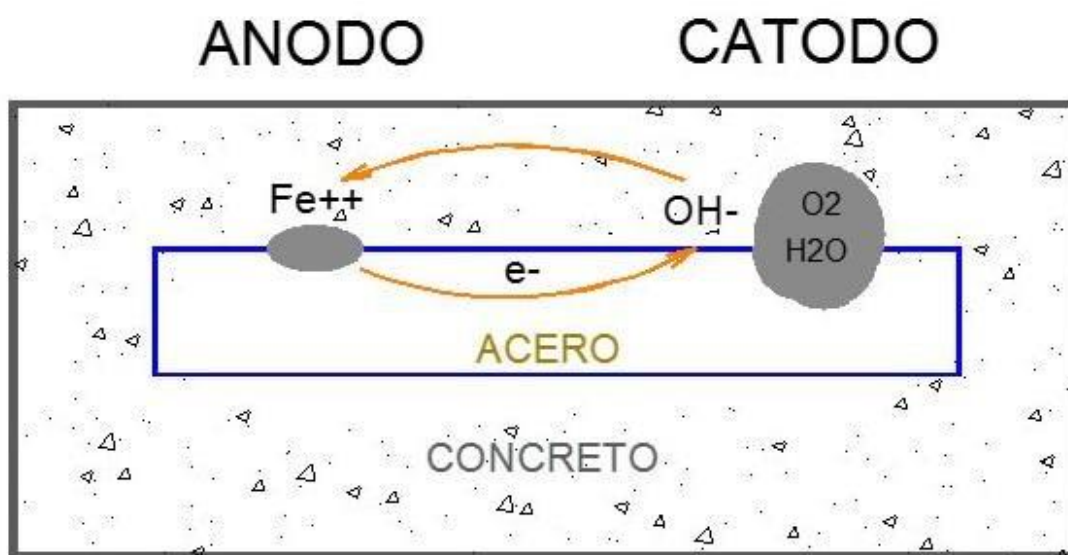
hay metal en el cátodo. anión La absorción de electrones reduce su número de oxidación hasta que alcanzan el estado fundamental.

El potencial electroquímico determina el aguante o delicadeza de un material metálico a la corrosión, y su grado difiere según la formación del electrolito. Cuanto más positivo sea el valor de dicho potencial, más caro (más duradero) será el material. Por el contrario, cuanto más negativo es, el material es más activo a la corrosión. La serie actual consta de una tabla en la que se ordenan los diferentes tipos de materiales según su potencial electroquímico.

11. Procesos de corrosión en estructuras de concreto armado (Embebidas)

“La corrosión en este tipo de acero, es un fenómeno electroquímico el cual exige un flujo eléctrico y una que otra reacción química para su debido proceso”. (Guerrero et al., 2022). El ánodo y al cátodo se presentan en una misma barra o también en una adyacente a la ya afectada y es ahí donde el ánodo toma lugar y posterior a esto, el elemento resiste una reacción de oxidación por la pérdida de electrones, ver figura No 1; por otra parte, el cátodo hace referencia al lugar donde el acero no es debilitado, puesto que el oxígeno requiere de agua aceptada para formar iones hidroxilos (OH^-).

Ilustración 13 Corrosión del acero en estructuras de concreto armado



Fuente:(Guerrero et al., 2022)

“Para que esto suceda , la capa pasiva del acero debe destruirse, esto sucede al mezclar oxígeno, agua y agentes agresores como los cloruros, ya que estos acrecientan la conductibilidad y reducen la resistividad del concreto”.(Guerrero et al., 2022)

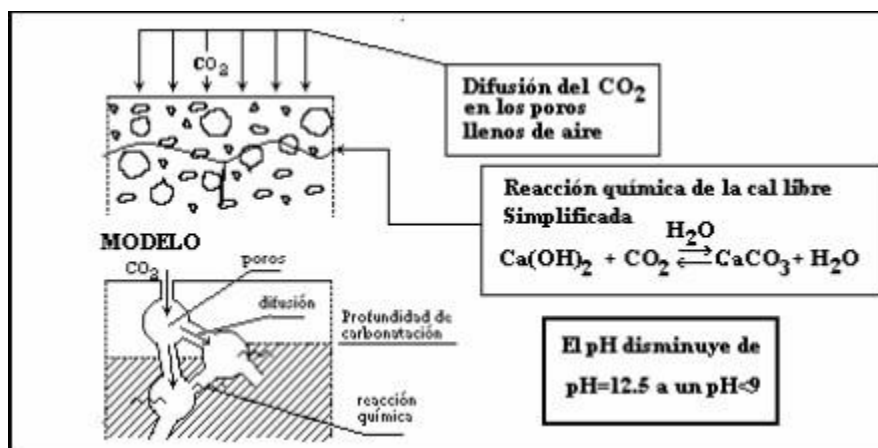
11.1. Tipos de corrosión

11.1.1. Corrosión por carbonatación

“Este fenómeno es una patología provocada por el aire que se respira, específicamente por el dióxido de carbono afectando el acero del concreto reforzado, el cual conserva una capa oxidada en su superficie, que cumple con la función de establecer termodinámicamente y proteger el metal de la corrosión (pasivación)”. (Chine et al., 2019). Sin embargo, el dióxido de carbono (CO_2) se introduce al material y progresa con los compuestos del concreto formando calcita ($CaCO_3$), que repetidamente precipita en las paredes de los poros del concreto; esto ocurre

debido a que el dióxido de carbono se mezcla con otro tipo de sustancias que provienen también del medio exterior obteniendo como resultado cambios en el pH disminuyendo de 12.5 a un pH de $\cong 9$ como se muestra en la figura No 2, ocurrido esto la capa de oxido protector pierde su estabilidad termodinámica y es qui donde se produce la corrosión del acero.

Ilustración 14 Proceso de carbonatación



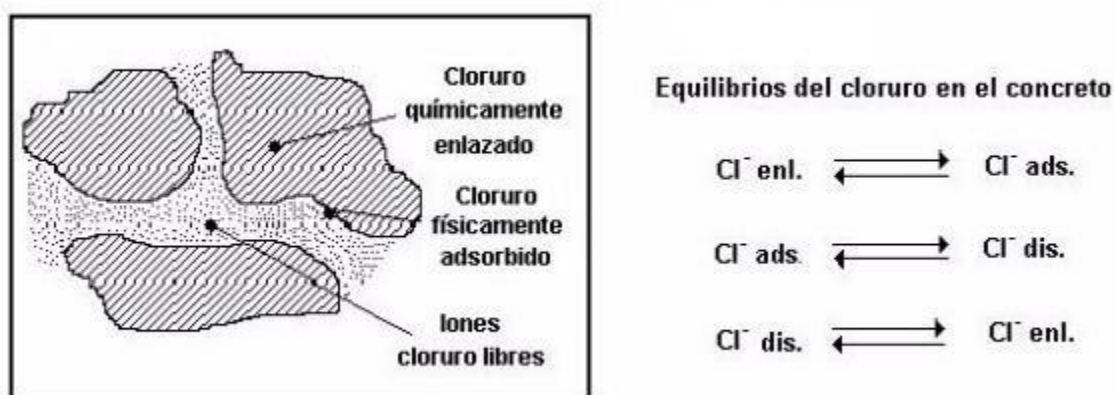
fuelle:(del Valle et al., 2001)

11.1.2. Corrosión por acción de cloruros

La corrosión por cloruros sucede, más que todo en estructuras expuestas al medio marino, ya que los iones se adhieren en el hormigón deteriorando la capa defensora que cubre al acero, las condiciones pobres en las que se encuentre la superficie pueden generar una recóndita y rápida penetración de la corrosión en este tipo de acero. Otra acción que produce esta corrosión es el agua que se utiliza para el amasado omezclado de los materiales con los cuales se produce el concreto.

Según lo afirman (del Valle et al., 2001): “Los iones cloruro se encuentran de tres formas: enlazados, adsorbidos y disueltos en agua la cual se conserva en los poros, que genera la disolución poro. Los iones que dañan o destruyen el acero de refuerzo son los que se localizan disueltos o libres, pero también es posible que a causa de los equilibrios que se generan mezclen con la disolución y se conviertan en peligrosos”.

Ilustración 15 Equilibrios del ion cloruro en el concreto.



fuelle:(del Valle et al., 2001)

11.2. Prevención de la corrosión

(Paredes et al., 2013) Indican que “para prevenir y que a futuro la corrosión no provoque un deterioro en la estructura, tener en cuenta los siguientes parámetros”

- El hormigón debe contar con una estructura de poros adecuada.
- Contar con espesores suficientes de recubrimiento.
- Hormigón esté libre de cloruros.

De acuerdo a lo anterior tener en cuenta.

- Procesos de propagación de los ataques por carbonatación y/o por la presencia de iones de cloruro.
- Humedad.
- Temperatura.

De acuerdo a los parámetros ya mencionados la función de estos es prevenir la corrosión para evitar daños futuros y que a causa de esto se debilite la estructura; es de vital importancia indagar sobre prevenciones y/o cuidados del acero o estructuras de refuerzo, tener en cuenta las normas técnicas que se deben cumplir para asegurar el ciclo de vida en la estructura, proyecto u edificación.

12. Procesos de corrosión en el acero estructural

Entre los procesos de clasificación existen dos tipos importantes las cuales tienen que ver con el medio y la morfología en que se desarrolla.

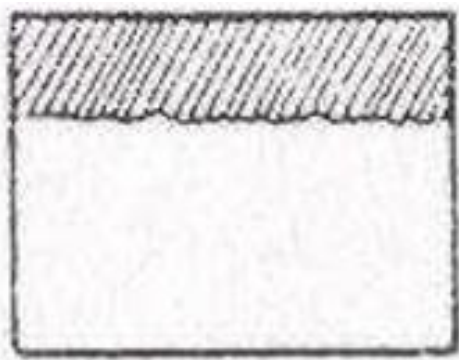
- Corrosión química: (Sanchez, 2021) indica que “Este tipo tiene que ver cuando el material metálico interactúa en un medio no iónico, un claro ejemplo es la oxidación a altas temperaturas, la capa de óxido que se crea sobre el metal especialmente en aleaciones hierro-carbono, es débil y puede ser retirada fácilmente”
- Corrosión electroquímica: (Sanchez, 2021) indica que “Existe la intervención de iones metálicos los cuales involucran el transporte de electricidad por medio de un electrolito (óxido reducción). En este tipo se evidencian soluciones salinas, corrosión en los suelos y también corrosión atmosférica”

12.2. Tipos de corrosión de acuerdo a los dos procesos anteriores

12.1.1. Corrosión generalizada (uniforme)

Es una de las formas más apacible de corrosión, esta se extiende homogéneamente sobre la capa metálica, y su agudeza media es igual en todos los puntos. Este tipo de ataque calcula de una manera muy fácil el ciclo de vida como se muestra en la figura 2.

Ilustración 16 Corrosión uniforme



fuentes: (del Valle et al., 2001)

Este tipo es garante de gran pérdida de material, provocando así adelgazamiento severo y a casusa de esto muchas de las veces suele ser la causa de fallas en las piezas. “Aquellos materiales homogéneos que no tienden significativamente a la pasivación en el entorno real son lo más propensos a sufrir este fenómeno de corrosión”. Bardal, E (2004).

De acuerdo con Salazar-Jiménez, J. A. (2015). Las tasas de corrosión en estos casos están fuertemente influenciadas en presencia de impurezas y diferentes cambios en el material. Esto se debe a que inducen cambios en la energía potencial, forman electrodos de pequeña escala y promueven este fenómeno.

12.1.1.1. Métodos de mitigación

Dado de que este tipo se puede identificar a simple vista, se logra actuar de manera pertinente evitando daños severos o una pérdida de material considerable. Pérez N. (2004).

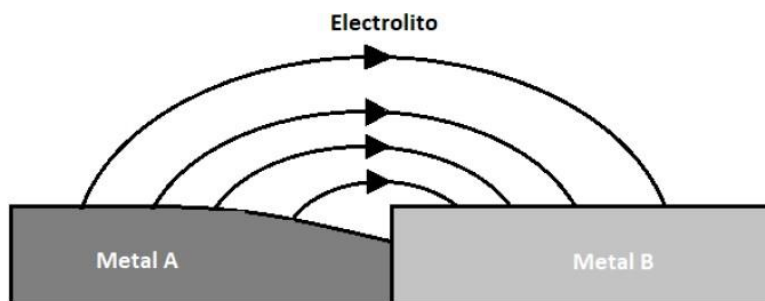
La durabilidad del material depende de los siguientes aspectos:

- Un adecuado material con estructura uniforme.
- Pintura o revestimiento.
- Retardantes para suprimir la corrosión
- Protección catódica

12.1.2. Corrosión galvánica

Así como la corrosión uniforme, este tipo de corrosión se puede determinar visualmente y es común en muchos materiales. La Corrosión galvánica, ocurre desde antes que los dos materiales entren en contacto con el ambiente corrosivo.

La corrosión galvánica se produce cuando metales de diferente naturaleza se combinan física o eléctricamente, por la existencia de un electrolito, para formar una celda electroquímica en la que se corroe el material de menor potencial electroquímico.

Ilustración 17 Corrosión galvánica

fuelle:(Salazar-Jiménez, 2015)

“Algo muy importante y que se debe tener en consideración es el área de la zona de relación entre los materiales. A mayor sea la relación del ánodo respecto al cátodo, la corrosión ocurre con mayor velocidad”. (Salazar-Jiménez, 2015)

Esta clase de corrosión es común observarla en partes de unión como donde se ubican espárragos otornillos. Los cuales se suelen reemplazar estas piezas al ser la opción más rentable que otros métodos de reparación.

12.1.2.1. Métodos de mitigación

(Ortiz, 2002) menciona las siguientes actividades sirven para combatir este tipo de corrosión, las cuales se pueden usar simultáneamente:

- Materiales lo más cercano posible en la serie galvánica.
- Evitar el efecto de área desfavorable.
- Materiales aislados de la electricidad.
- Aplicar recubrimientos.
- Aumentar inhibidores para evitar las agresiones del medio.

- Diseñar zonas de mayor espesor o anódicas fácilmente renovables.

12.1.3. Corrosión por picadura (pitting)

Es un proceso de redox que se desarrolla en los poros de una superficie recubierta por un pasivado. Este fenómeno es un método único de corrosión localizada que crea orificios en el metal. Es muy común en las aleaciones metálicas a base de aluminio, cobre y titanio; como también, varios grados de acero inoxidable. Así mismo, Sankara, P (2017) expone que los sistemas metálicos más inmunes a este tipo de corrosión son los sistemas metálicos a base de berilio.

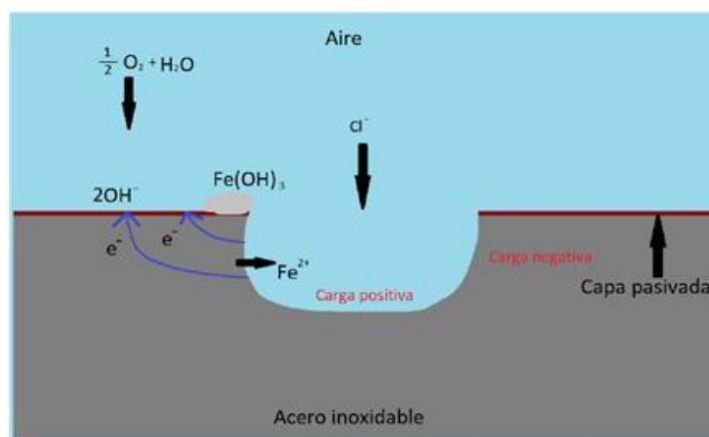
12.1.3.1. Iniciación de la picadura

1. Daños mecánicos en las hojas de pasivación debido a arañazos. La reacción anódica comienza en la capa metálica en contacto con el electrolito. La superficie alrededor de la pasivación actúa como un cátodo. Las partículas de la segunda fase flotan sobre la superficie del metal.
2. Los límites pueden actuar como ánodos locales, causando corrosión galvánica local y picaduras iniciales
3. Las tensiones locales que surgen en la superficie en forma de disociaciones pueden convertirse en ánodos y comenzar a picarse
4. El medio heterogéneo puede disolver la capa de pasivación en algunos lugares donde se forma el hoyo inicial

12.1.3.2. Crecimiento de la picadura

Estando los de iones de cloruro, esta crece por medio del proceso auto catalítico. Este proceso de un acero inoxidable se ilustra en la siguiente imagen:

Ilustración 18 Corrosión por picadura



fuelle:(Soto, 2013)

1. El ánodo libera electrones los cuales fluyen hacia el cátodo (superficie pasivada) descargando allí en la reacción catódica.
2. El electrolito da como resultado en la picadura carga positiva en contraste con el electrolito que rodea a la cavidad, que se carga negativamente.
3. Los iones cloruro son atraídos por la carga positiva los cuales aumentan la acidez del electrolito acorde a esta reacción.
4. El pH acelera el proceso de corrosión y disminuye la picadura.

12.1.3.3. Métodos de mitigación

Este tipo de corrosión se puede mitigar o contrarrestar de acuerdo con los siguientes métodos:

Modificación del medio: Implica cambiar las propiedades químicas del medio para reducir o prevenir las reacciones de oxidación; asociados con la adición de soluciones de supresión nutricional.

1. Reducir o modificar la capa de óxido existente, reduciendo la celeridad de disolución en sitios anódicos.
2. La deposición de agregados como los hidróxidos sobre el ánodo y el cátodo, ralentizando reacciones parciales o aumentando la durabilidad en circuitos electroquímicos
3. Formar una superficie adhesiva sobre la superficie metálica, creando una valla física a la penetración de iones de agua, oxígeno, etc.

Cambio estructural: Se trata de introducir el otro material metálico a la capa corroída del metal para aumentar la resistencia a este fenómeno; como, por ejemplo: en los aceros inoxidables existe la mezcla de molibdeno. En el caso de estructuras metálicas costeras también se hace uso de cobre y níquel para que sea resistente a corrosión en aguas saladas; como también las aleaciones entre magnesio y cobalto.

Modificación superficial: Consiste en el recubrir con una capa metálica al material metálico base corroído, y a su vez; hay dos posibilidades de recubrir con un metal como el Zinc (Zn) ya que este es más activo y permite que cuando este se encuentre con un electrolito se polarice negativamente y corroe la película del metal activo el acero previniendo daños en el metal base. Finalmente, para el caso de recubrir con Níquel (Ni) o Estaño (Sn) que vienen siendo metales menos activos, es por la resistencia que poseen este tipo de metales ante la corrosión.

El gran reto que enfrentan estos dos tipos de modificaciones superficiales es que si quedan zonas no recubiertas tiende a ser más severa al crearse un par galvánico donde el acero actúa como un ánodo y el níquel o estaño como un cátodo.

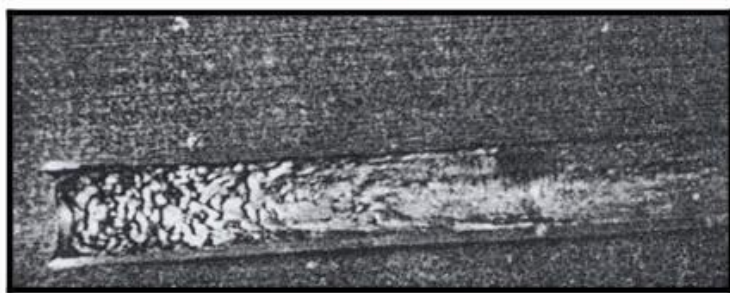
Creando ya no una corrosión por picadura sino una corrosión localizada lo que conlleva a una falla estructural generando mayor riesgo.

Finalmente, Caballero. B (2019) refiere que, el método más efectivo es la modificación de la superficie, que consiste en aplicar una capa protectora de la superficie. Así mismo, las aleaciones anticorrosivas se utilizan en la industria química para proteger las estructuras de acero, equipos y tuberías. Además, cuando se utilizan accesorios y acabados decorativos, el revestimiento protege la superficie expuesta a condiciones ambientales.

12.1.4. Corrosión por cavitación

Cavitación es la creación de huecos en un fluido debido a la turbulencia, o temperatura que reduce la presión del fluido a una temperatura por debajo de la presión de vapor en un lugar localizado dentro del tubo, reduciendo así la resistencia del material, por ejemplo, en la figura 5. Las cavidades son en realidad poros en un fluido que contiene solo vapor de agua y generalmente existen por un corto tiempo debido a los cambios de presión en un fluido turbulento.

Ilustración 19 Corrosión por cavitación



fuentes: (Escuela Politécnica Nacional, 2022)

12.1.4.1. Métodos de mitigación

El daño se puede mitigar con el diseño de sistemas hidráulicos buscando que las caídas de presión sean lo más pequeña posibles, controlando la minimización de formación de burbujas.

En cuanto a la selección de materiales, cabe resaltar, que los materiales dúctiles y resistentes a la fatiga son los más adecuados para minimizar este fenómeno. Así mismo, los materiales con superficies rugosas dan más espacio para que se formen estas burbujas, por lo que el material debe tener algún tipo de revestimiento de goma o plástico. (Carlton, 2019)

12.1.5. Corrosión por erosión

Ocurre cuando la corrosión va junto a un agotamiento mecánico (abrasión), generalmente como resultado de movimiento entre el medio corrosivo y el material metálico. Como, por ejemplo: una tubería en la que viaja en un fluido a alta velocidad. Tal es el caso, la capa pasiva se corroe y desgasta continuamente al mismo tiempo, por lo que la erradicación incesante de esta capa protectora acelerará este fenómeno de deterioro.

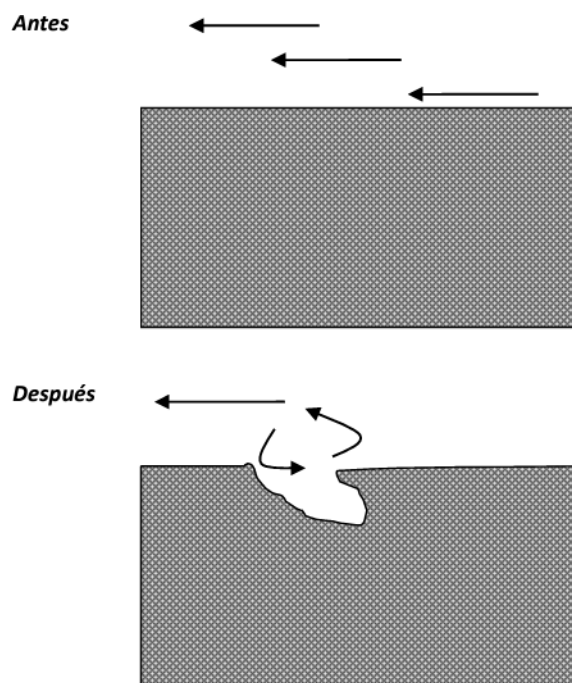
Los famosos materiales “blandos” son aquellos susceptibles a la erosión, como es el caso del cobre, el aluminio y las aleaciones de plomo. En estos metales, la capa pasiva es pegajosa blanda y gruesa. En cambio, las aleaciones de titanio y el acero inoxidable al enfrentarse a este fenómeno vienen siendo casi inmunes.

En el medio líquido, el efecto es más importante cuando es cuando hay sólidos en suspensión, tal es el caso como el de la arena. La situación se ve agravada por el flujo turbulento (caudales elevados con torbellino), por esta razón cualquier defecto de la pared de la tubería o soldadura, así como

los malos diseños de fabricación o incluso la rugosidad debido a la presencia de hilos pueden empeorar esta situación.

Tales materiales son asociados a una velocidad crítica, la cual se vuelve delicado a este ataque. Cuando ocurre, se puede identificar visualmente, porque se forman depresiones con forma de herradura, orientadas en la dirección en que se mueve el fluido. Todos los metales que entran en contacto a fluidos en movimiento están sujetos a la erosión y corrosión. Esta situación es casi inevitable en tuberías y conductos cerrados, especialmente si existen codos, bridas, soldaduras u otro tipo de conexiones que alteren el sentido del fluido o provoquen turbulencias.

Ilustración 20 Corrosión por erosión



fuentes: tomado de;(Vázquez, 2018)

12.1.5.1. Métodos de mitigación

Según, (Universidad Nacional Autónoma de México, 2022) Dentro de las maneras de protección se implementan los siguientes 4 métodos de prevención:

1. Elección de metales más resistentes caracterizada por la solución más común y económica de este fenómeno
2. Diseño adecuado: Se trata de hacer un buen estudio ajustando su forma, tamaño y geometría de las piezas de manera correcta
3. Alteraciones del medio corrosivo: tratando de reducir la temperatura del proceso se filtran soluciones para eliminar partículas sólidas en suspensión
4. Recubrimientos: Se buscan materiales resistentes a la corrosión para cambiar la capa corroída con dicho material,

12.1.6. Corrosión por tensión

El agrietamiento por corrosión bajo tensión ocurre en algunos metales bajo la acción de medios corrosivos y tensión de tracción (carga externa o tensión interna). Este es un mecanismo progresivo que finalmente causa la destrucción de materiales metálicos y conduce a la aparición característica de grietas muy ramificadas.

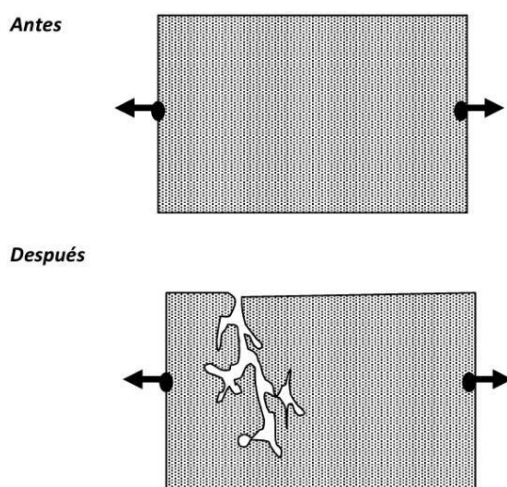
Aquí debe mencionarse la necesidad de combinar dos o más factores para lograr un resultado particular. Por un lado, se trata de factores relacionados con la condición de estrés mecánico a la que se somete el producto, así como los relacionados con la formación química en el medio ambiente. Ninguno de estos factores, solo o incluso en combinación, puede producir el mismo impacto.

Los esfuerzos requeridos pueden ser el resultado de cargas o fuerzas de las que se somete el metal debido a su función (por ejemplo, el tensor de un puente soportando sus cargas).

A su vez, pueden ser causados por tensiones residuales que quedan en el material debido a la formación final o durante el montaje. El tratamiento térmico adecuado puede reducir o eliminar parcialmente la tensión residual.

“Dos ejemplos de materiales que típicamente están sujetos a corrosión bajo tensión (si se dan las condiciones necesarias) son el acero inoxidable en medios que contengan iones cloruro y los latones en contacto con medios ricos en amoníaco”. (Vázquez, 2018)

Ilustración 21 Corrosión por tensión



fuelle: (Vázquez, 2018)

12.1.6.1. Métodos de mitigación

Los recubrimientos se pueden realizar por ejemplo a través de mecanismos de transformación de metales, algunos de los cambios superficiales en este proceso son el anodizado, el fosfatado y el

cromado, también puede implementarse procesos de galvanoplastia como zinc, cromo, níquel o estañadoo elegir un proceso de inmersión en caliente. que es la industria más utilizada debido a su larga vida útil.

Cabe resaltar para la elección de estos recubrimientos se debe tener en cuenta la función de la pieza y las condiciones a las que va a estar expuesta.

12.1.7. Corrosión microbiológica

También se le conoce como corrosión microbiológicamente inducida. En estos casos, el factor diferenciador sin duda es la actividad de microorganismos, que se definen como el factor que inicia, promueve o acelera el proceso de corrosión.

Este tipo afecta a las industrias nuclear, petrolera, eléctrica, papelera y alimentaria, entre otras. Normalmente el 20-30% de los daños en las tuberías de transmisión de hidrocarburos están relacionadas con problemas de corrosión microbiológica que afectan las superficies internas y externas de las tuberías.

Los microorganismos que pueden producir productos de desecho crean un medio agresivo. Los ciclos metabólicos de los microorganismos están involucrados en reacciones químicas que generan energía por asimilación de los nutrientes presentes en el ambiente. Estos mecanismos pueden tener diversas consecuencias, incluida la destrucción de las capas protectoras de la superficie, la formación de un entorno local muy ácido, la formación de depósitos, etc.

Un factor importante que afecta el cambio en el estado de la capa del material metálico y aumenta la tasa de corrosión es la creación de biopelículas. La biopelícula es un conjunto de algas, bacterias y otros microorganismos, que consiste en una reja coloidal de material polimérico extracelular (MPE) con un exceso de agua (80-95% en peso). Esta biopelícula altera las condiciones en la interfaz metal/ambiente, donde pueden ocurrir reacciones entre los metabolitos microbianos y la superficie del metal debajo o dentro de la estructura de esta.

12.1.7.1. Métodos de mitigación

Según, (Medina, 2020) Para la prevención de daños se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

1. Analizar con exactitud las posibilidades de contaminación
2. Propiciar un ambiente no agresivo, asegurado la remoción controlada de nutrientes de microbios
3. Seleccionar materiales de resistencia adecuados
4. Uso de recubrimientos de materiales orgánicos e inorgánicos para la protección de los materiales

Según, (Medina, 2020) Para combatir la corrosión microbiana:

1. Uso de biocidas oxidantes (Cloro, Ozono, Bromo) prestando atención a las normativas vigentes en materia de vertido de residuos del sistema
2. Uso de fungicidas hidrosolubles
3. Uso de fungicidas y biodispersantes insolubles en agua

4. Uso de pinturas, especialmente de polímeros sintéticos o pinturas que contengan sales inhibidoras
5. Los cambios en las condiciones ambientales promoviendo el crecimiento de las bacterias
6. Implementar diseños que consideren la colonización bacteriana de manera que prevengan o inhiban la emergencia o desarrollo

13. Referencias bibliográficas

- Caballero, B. (2019). *Estudio de la corrosión por picadura a través de técnicas electroanalíticas en acero inoxidable 304 sin protección y recubierto electroquímicamente con aleaciones de Níquel-Fósforo* [Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77346/1032440795.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carlton, J. S. (2019). Propeller Maintenance and Repair. *Marine Propellers and Propulsion*, 569–576. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100366-4.00027-4>
- Cayambe, M., & Pérez, F. (2013). *Obtención de concreto de alta resistencia mediante la adición de microsílice y superplastificantes en la mezcla, para su aplicación en elementos estructurales*. <https://1library.co/document/y6e45egz-obtencion-concreto-resistencia-microsilice-superplastificantes-aplicacion-elementos-estructurales.html>
- Chipatecua, L. (2022). *¿Cuál es la composición química del cemento y cómo afecta sus propiedades? - 360 en concreto*. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/cual-es-la-composicion-quimica-del-cemento-y-como-afecta-sus-propiedades/>
- Construinnova. (2016, June 29). *Hormigón biológico* | Construinnova.
<https://construinnova.net/2016/06/29/hormigon-biologico/>
- Dakal, T. C., & Cameotra, S. S. (2012). Microbially induced deterioration of architectural heritages: Routes and mechanisms involved. *Environmental Sciences Europe*, 24(1), 1–13.
<https://doi.org/10.1186/2190-4715-24-36/FIGURES/1>
- del Valle, A., Tezozómoc, M., López, P., & Madrid, M. M. (2001). *Secretaría de comunicaciones y transportes instituto mexicano del transporte*.

Escuela Politécnica Nacional. (2022). *Corrosión y degradación de los metales*.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2771/1/CD-0553.pdf>

Gámez-Espinosa, E., Bellotti, N., Deyá, C., & Cabello, M. (2020). Mycological studies as a tool to improve the control of building materials biodeterioration. *Journal of Building Engineering*, 32, 101738. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2020.101738>

Gaylarde, C., Ribas Silva, M., & Warscheid, Th. (2003). Microbial impact on building materials: an overview. *Materials and Structures* 2003 36:5, 36(5), 342–352. <https://doi.org/10.1007/BF02480875>

Guerra, F. L., Lopes, W., Cazarolli, J. C., Lobato, M., Masuero, A. B., Dal Molin, D. C. C., Bento, F. M., Schrank, A., & Vainstein, M. H. (2019). Biodeterioration of mortar coating in historical buildings: Microclimatic characterization, material, and fungal community. *Building and Environment*, 155, 195–209. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2019.03.017>

Guerrero, J., Montoya, H., & de la Cruz, M. (2022). *Identificación y evaluación del riesgo de la corrosión en estructuras de concreto armado en plantas industriales sometidas a un ambiente ácido – CienciAcierta*. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/06/29/identificacion-y-evaluacion-del-riesgo-de-la-corrosion-en-estructuras-de-concreto-armado-en-plantas-industriales-sometidas-a-un-ambiente-acido/>

Imbabi, M. S., Carrigan, C., & McKenna, S. (2012). Trends and developments in green cement and concrete technology. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1(2), 194–216. <https://doi.org/10.1016/J.IJSBE.2013.05.001>

- Ivanov, V., & Stabnikov, V. (2017). *Biocorrosion, Biodeterioration, and Biofouling in Civil Engineering*. 261–269. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1445-1_13
- Kakakhel, M. A., Wu, F., Gu, J. D., Feng, H., Shah, K., & Wang, W. (2019). Controlling biodeterioration of cultural heritage objects with biocides: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 143, 104721. <https://doi.org/10.1016/J.IBIOD.2019.104721>
- Mariana Rodríguez-García, L., Cervantes, J., & Guerra-Contreras, A. (2021). *Estrategias de consolidación de materiales silíceos y calcáreos utilizando derivados de alcóxidos de silicio*.
- Medina, H. F. (2020). Corrosión microbiológica. *Corrosión Microbiológica*. https://www.academia.edu/42087660/CORROSI%C3%93N_MICROBIOL%C3%93GICA
- Rendon Diaz Miron, L. E., & Koleva, D. A. (2017). Concrete durability: Cementitious materials and reinforced concrete properties, behavior and corrosion resistance. *Concrete Durability: Cementitious Materials and Reinforced Concrete Properties, Behavior and Corrosion Resistance*, 1–162. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55463-1/COVER>
- Salazar, J. (2015). *Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica) Introduction to Corrosion Phenomena: Types, Influencing Factors and Control for Material's Protection (Technical note)*.
- Salazar-Jiménez, J. A. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica). *Revista Tecnología En Marcha*, 28(3), ág. 127-136. <https://doi.org/10.18845/TM.V28I3.2417>

- Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* - Diego Sanchez de Guzman - Google Libros. <https://books.google.com.co/books?id=EWq-QPJhsRAC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Segui, P. (2019). *Autótrofos; Qué organismos son, nutrición, clasificación, ejemplos*. <https://ecosistemas.ovacen.com/cadena-alimenticia-red-trofica/autotrofos/>
- Soto, C. (2013). *Estudio de corrosión de acero inoxidable AISI 316 en soluciones cloradas*. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/113390/cf-soto_ci.pdf?sequence=1
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2022). *Corrosión*. http://www.punta.unam.mx/fi_papime_pe1000720/pdfs/corrosion.pdf
- Urrego, D. (2021). *Mecanismos de degradación de concreto mediados por la simbiosis entre Leucaena leucocephala y Aspergillus niger establecidos en estructuras urbanas* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79973/1018372308.2021.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Uvietta, A. (2015). *Patrimonio cultural del cementerio de Magdalena, provincia de Buenos Aires 1860-1940 . Un enfoque multidisciplinar*. <https://1library.co/document/lzgrx28q-patrimonio-cultural-cementerio-magdalena-provincia-buenos-enfoque-multidisciplinar.html>
- Valarezo, M. (2011, June 23). *Fundamentos del Hormigón*. <https://es.slideshare.net/mfvalarezo/fundamentos-del-hormign>
- Vázquez, M. (2018). *La corrosión El peor de los villanos cuando dominan los metales*. Wasabi, L. (20006, August 17). *Moho y hongos en las fachadas* | Consumer. <https://www.consumer.es/bricolaje/moho-y-hongos-en-las-fachadas.html>

Rodríguez, L. M., Genescá, J., Uruchurtu, y J., Hernández, I. (1999), Corrosividad Atmosférica., 1ra Ed, Plaza y Valdés, S. A. de C.V., México, 5-38.

Ávila, J., Genescá, J. (2002), Más allá de la herrumbre I, 3a. Ed. La ciencia para todos, México, 25-86.

Revie R. W. y Uhlig H. H. (2008). Corrosion and Corrosion Control – An Introduction to Corrosion Science and Engineering. Wiley & Sons, Inc: USA.

Torres Acosta, A. A., Martínez Molina, W., Lomelí González, M. G., & Pérez Gallardo, A. (2009). Adiciones en base a Cactus como inhibidor de corrosión para acero de refuerzo en concreto. Publicación Técnica, (328).

ECCA (2011). The Basics of Corrosion. Technical Paper. Obtenido desde:
<http://www.prepaintedmetal.eu/repository/Annina/Basic%20of%20corrosion%20021211.pdf>.

Bardal E. (2004). Different Forms of Corrosion Classified on the Basis of Appearance. Corrosion and Protection. Engineering Materials and Processes. Springer, London. Pp 91.
https://doi.org/10.1007/978-1-85233-845-9_7

Salazar-Jiménez, J. A. (2015). Introducción al fenómeno de la corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica). Revista Tecnología en Marcha, 28(3), Pp 130. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i3.2417>

Perez N. (2004) Forms of Corrosion. Electrochemistry and Corrosion Science. Springer, Boston, MA. Pp 6. https://doi.org/10.1007/1-4020-7860-9_1

Ortiz, A. Corrosión. Facultad de Ingeniería, México. 2002. México. Págs. 3.8

Sankara Papavinasam, Chapter 28-Pitting Corrosion. A.M. El-Sherik,2017, Pages 663-688, ISBN 9780081011058, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101105-8.00028-0>.

Escuela Politécnica Nacional. Corrosion y degradación de los metales. Pag 15.

Vázquez, Marcela La corrosión: el peor de los villanos cuando dominan los metales / Marcela Vázquez. - 1a ed. - Mar del Plata: EUDEM, 2018. Libro digital, PDF