

Universidad Privada Antenor Orrego



UPAO
...una gran Universidad!

**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

INVESTIGACION “PREMIO ANTEHOR ORREGO 2010”

**VIDA UTIL EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO
ARMADO DESDE EL PUNTO DE VISTA DE
COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL**

AUTORES: ING. MARCO CERNA VASQUEZ

ING. WILLIAM GALICIA GUARNIZ

ASESOR: DR. GENNER VILLARREAL CASTRO

TRUJILLO – PERU

2010

RESUMEN

La presente investigación, está orientada al estudio de las edificaciones de concreto armado, teniendo como punto de análisis el comportamiento del material, en el aspecto de corrosión.

Para el desarrollo de esta investigación, se manejaron diferentes modelos y cuadros comparativos de Daños, Vida Útil del material, Existencia de Corrosión, Elementos estructurales dañados, que se debe hacer en las inspecciones técnicas de edificaciones escogidas.

En el desarrollo de la investigación, en el primer capítulo se estudió el estado del arte de la Vida Útil de las Estructuras, en donde se abarca el estudio de Normas Internacionales, así como los alcances de la Patología y diversos comportamientos del concreto en los elementos estructurales de una edificación. En el segundo capítulo se identifica la interacción entre la corrosión y el concreto, donde se muestra los diversos casos de estudios de la Corrosión de la armadura en el Concreto, así como, los factores y causales preliminares que conllevan al efecto negativo del concreto en el tiempo. En el tercer capítulo se desarrolla la descripción y desarrollo de la investigación, donde se explica los procedimientos y la inspección general

En el cuarto capítulo se muestran los resultados de la investigación, luego de haber analizado las inspecciones en las 3 zonas en estudio, resaltando que se desarrolló una metodología de tablas y gráficos para comprender la realidad de las viviendas. Finalmente, en el último capítulo, se presentan las conclusiones generales y específicas de la investigación, así como las Recomendaciones Constructivas de acuerdo al contexto de la Ciudad de Chimbote, teniendo la consideración principal que las estructuras deben de cumplir con los requerimientos exigidos en el país.

Los Autores

INTRODUCCION

Las excepcionales virtudes del concreto armado como material de construcción, determinaron a fines del siglo pasado y principios del presente, una rápida expansión en su utilización. El volumen, pero sobre todo la variedad y el aspecto de las obras en concreto armado, generó una tecnología en permanente transformación, que acumula un aporte considerable de ingenio y éste a su vez, una industria de equipos, tanto para la fabricación como para la colocación en sitio del concreto y su armadura, en continuo desarrollo y de amplia incidencia en la economía mundial.

Como material de construcción, se pensó que el concreto podría tener una duración ilimitada. Sin embargo, en la actualidad se reporta un número cada día creciente de estructuras prematuramente deterioradas por corrosión del acero de refuerzo. Esta corrosión, en general, se debe al ataque destructivo de iones cloruro que penetran desde el exterior por difusión o porque fueron incorporados a la mezcla de concreto y/o a la carbonatación del recubrimiento del concreto.

La corrosión en la armadura del concreto es un área claramente interdisciplinaria donde la química, en especial la electroquímica y la cinética tienen un papel principal. La indicación elocuente de la importancia del tema, se manifiesta en el creciente número de artículos especializados en revistas científico – técnicas, en la aparición de nuevas empresas orientadas a los trabajos en monitoreo del medio ambiente y la medición de las características relevantes del concreto para definir su respuesta al fenómeno de corrosión.

La búsqueda de una metodología precisa que conduzca a una respuesta acertada sobre las causas de la corrosión es un objetivo de la investigación en la materia. Los especialistas señalan la importancia de un correcto diagnóstico existiendo el riesgo de que intervenciones incorrectas reduzcan la durabilidad que tiene la estructura primitiva. Consideraciones de orden técnico y económico determinan las medidas a tomar. La diversidad de procedimientos y productos ofrecidos en el mercado constituye todavía un amplio campo de investigación a partir de los fundamentos teóricos y de los resultados obtenidos en los casos que han sido aplicados.

La velocidad real de la corrosión del concreto no ha podido determinarse hoy en día, porque la intensidad de los procesos de corrosión en la naturaleza dependen de una serie de condiciones no conocidas suficientemente. Por otro lado, lo tardío de los síntomas y efectos hace que normalmente no se tomen precauciones del caso.

La presencia de sulfatos o cloruros en el agua, sino también éstos pueden estar presentes en los agregados incluso en los suelos de sustentación de las estructuras, tal es el caso de los suelos arenosos, encontrándose el concreto expuesto a diferentes tipos de ataques naturales o químicos.

Estas y muchas apreciaciones nos motivan a realizar una investigación exhaustiva acerca de los efectos que produce el fenómeno de la corrosión junto a sus diversos agentes corrosivos, por todo esto es de mucha responsabilidad la participación del Ingeniero Civil, debiendo tomar así, conciencia de la importancia de este fenómeno, para el beneficio sostenido en el desarrollo de nuestro País.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- ✓ Determinar la realidad de las edificaciones existentes en la Ciudad de Chimbote.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- ✓ Conocer y comprender la acción de los elementos nocivos de la edificación y sus problemas en el transcurso del tiempo.
- ✓ Desarrollar una metodología, análisis y registro de datos, para la inspección general de viviendas familiares.
- ✓ Implementar un formato especial de Inspección de Viviendas con el visto bueno del Propietario.
- ✓ Analizar y comparar las tres zonas en estudio, e indicar los problemas o daños de mayor proporción.
- ✓ Determinar las medidas preventivas necesarias para evitar o postergar al máximo, la corrosión.
- ✓ Realizar un manual básico de identificación, desarrollo y mitigación de problemas constructivos y químicos en las viviendas unifamiliares y multifamiliares.

CAPITULO I: ESTADO DEL ARTE

1.1 VIDA UTIL

El concepto de vida útil de una estructura, que propone el reporte de la Red Temática DURAR [3] indica: “Período en el que la estructura conserva los requisitos del proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento”. En otras palabras, si la estructura careciera de cualquiera de estas tres propiedades (seguridad, funcionalidad y estética), ésta ya sobrepasó el período de su vida útil.

Cabe resaltar que se puede manifestar dos tipos de vida útil:

Vida Útil de Diseño, que puede ser proyectada específicamente para una obra en particular (éste es usualmente el caso de estructuras muy especiales) o si se siguen las especificaciones de las Normas y Códigos.

Vida Útil Real, se manifiesta cuando se ha alcanzado un nivel crítico o inaceptable de deterioro en la estructura, tal que hace a esta inservible para el propósito para el que fue proyectada o diseñada.

Se dice que una estructura es Durable cuando la Vida Útil Real iguala o supera a la Vida Útil de Diseño, aplicando un razonable esfuerzo de mantenimiento.

La Vida Útil Real puede prolongarse si se aplican providencias de mantenimiento preventivas o reparaciones curativas, hasta que éstas se hacen muy costosas o porque cambian los requisitos de servicio de la estructura, momento en que la estructura debe ser reemplazada.

1.2 VIDA RESIDUAL

El reporte de DURAR [3] manifiesta que “Se entiende por vida residual al tiempo a partir del momento en que la estructura alcanza el anterior límite aceptable (fin de la vida útil)”. La vida residual es el período en el que la estructura necesitaría reparación, remodelación o completa renovación para que regrese a su estado de servicio original; esto es que sea segura, funcional y estética.

En pocas palabras, la etapa de vida residual es el tiempo que tiene el dueño de la estructura, o elemento estructural, para repararla antes que la degradación avance hasta el límite de posible colapso.

En la siguiente grafico, se presenta unas estructuras de concreto que presentan desprendimiento notorio del recubrimiento, producido por la corrosión severa de la varilla de refuerzo. Se puede indicar, que las columnas indicadas se encuentran más allá de su vida útil, ya que la degradación que presentan no son una mancha de oxido o grieta. Este proceso de degradación inclusive puede ser suficiente para producir una falla local en las columnas del puente. Para que no se produzca un colapso inminente de las columnas sería adecuado realizar una reparación general.



Figura 1.1 – Fotografía de un conjunto de columnas que soportan una losa de un puente. Se pueden observar grietas producto de la corrosión del acero

1.3 OCURRENCIA DE DAÑOS EN EL CONCRETO

Diferentes factores actúan durante la vida útil de cualquier obra de concreto, afectando de algún modo sus características de durabilidad. Estas condicionantes

pueden depender tanto de la acción del entorno o medio ambiente, como de las propiedades intrínsecas del concreto.

El diseño global de la obra, su interrelación con el suelo, diseño de los elementos constructivos y su posterior elaboración con la adecuada selección de los materiales componentes y colocación en obra, juegan también un rol importantísimo.

Para entender más las causales de ocurrencia de daños, podemos dividirlos en dos partes.

Causas Internas:

Se definen como causas internas aquellas que se relacionan con cambios volumétricos que ocurren dentro del concreto. La reacción química del cemento con el agua, conocida como hidratación, genera distintas reacciones químicas que pueden llegar a producir daños severos al concreto por el efecto de aumentos de volumen. Esta misma reacción química genera un fuerte aumento en la temperatura del concreto, el cual, al comenzar a enfriarse puede producir grietas de consideración. La eventual reacción de álcalis libres con áridos de alto contenido de sílice es iniciadora de una reacción incontrolable que también induce a un aumento interno de esfuerzos.

La pérdida del agua de mezclado produce cambios físicos conocidos como retracción de secado, pudiendo iniciarse desde muy temprana edad.

En este caso se producen fisuras superficiales. Si se generan con el tiempo, las fisuras pueden alcanzar todo el espesor del elemento.

Causas Externas:

Otras causas actúan externamente sobre la estructura. Las más típicas se refieren a las acciones de las cargas, ya sean estáticas o dinámicas, la acción del fuego, sismos, temperatura y viento extremo, asentamientos diferenciales, etc. Éstas inciden con esfuerzos de toda índole sobre el elemento, bastando que se sobrepasen las respectivas resistencias características del concreto para que ocurra un daño.

Sobre la superficie del concreto existe, debido al uso, un desgaste mecánico, abrasión e impacto, y, actuando sobre el recubrimiento del concreto se encuentran una serie de agentes nocivos, como el CO₂ - carbonatación, cloruros – sales descongela ntes, aguas con sulfatos, ciclos hielo/deshielo, y otros líquidos y gases agresivos. Este último tipo de causales puede llevar a la oxidación de la varilla, iniciando un nuevo tipo de daño con aparición de grietas y desprendimientos.

Fallas constructivas también fomentan la generación de daños, como el hecho de excesos de vibrado - segregación, mala colocación de mallas - inducción de grietas sobre la superficie, desplazamiento de moldes en acabados superficiales.

En resumen, durante la vida útil del concreto es “normal” la aparición de fisuras, las cuales pueden y deben ser reparadas, de acuerdo al uso que tenga la respectiva estructura, pero de aquí en adelante, si se produce procesos más fuertes que debilitan a la estructura, es punto de partida de estudio.

1.4 PERIODOS DE TIEMPO DE VIDA UTIL

1.4.1 NORMA MEXICANA

Los estados límites de una estructura, llamados también valores mínimos de servicio (o *valores máximos aceptables de degradación*), se indican a continuación:

a) El Estado Límite de Servicio (ELS) corresponde al punto en el tiempo el cual la estructura ha llegado a su vida útil, es decir, *“es el estado en el cual los requerimientos de servicio de una estructura o elemento estructural (seguridad, funcionalidad y estética) ya no se cumplen.”*

b) El Estado Limite Ultimo (ELU), es el estado en que la estructura o elemento estructural *“se encuentra asociado con colapso u otra forma similar de falla estructural.”* El reporte DURAR indica que el ELU es el tiempo en el cual la estructura llega a un estado de degradación inaceptable antes de que sufra un colapso inminente, cumpliéndose: $ELU < TIEMPO \text{ DE COLAPSO}$.

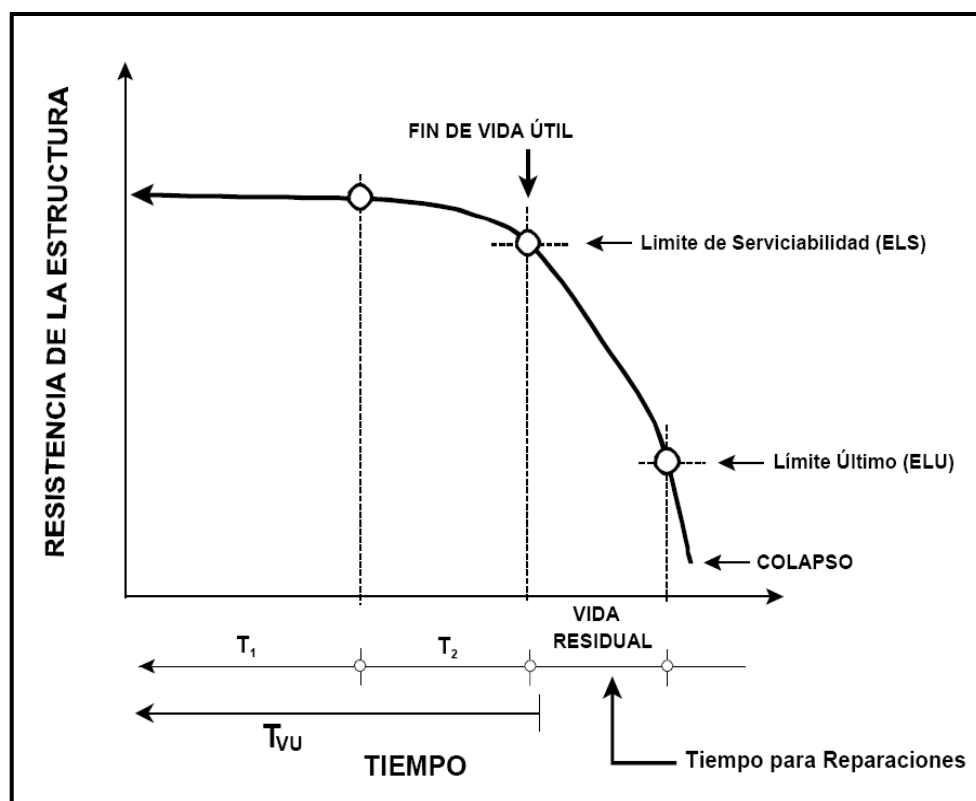


Figura 1.2 – Concepto de vida útil de las estructuras de concreto en función del fenómeno de la corrosión del refuerzo

Probabilidad de Falla

La probabilidad de falla se podría definir como la probabilidad de exceder cierto estado límite, ya sea el ELS o el ELU. El término 'falla por durabilidad' es usado cuando existe una falla por degradación del material en una estructura o elemento estructural, en comparación de "falla mecánica", la cual es causada por cargas mecánicas externas.

1.4.2 NORMA ACI COLOMBIA

En el caso de deterioro de la estructura por corrosión de la armadura, se puede distinguir por lo menos tres situaciones:

a) Un período de tiempo que va hasta la despasivación de la armadura, el cual se denomina, normalmente, período de iniciación. A este período de tiempo se puede asociar la llamada vida útil de proyecto. Normalmente corresponde al período necesario para que el frente de carbonatación o el frente de cloruros alcancen la varilla. Por frente de carbonatación se entiende la posición de la interface entre una

región carbonatada, de baja alcalinidad por acción del gas carbónico sobre los productos alcalinos de la hidratación del cemento y una región contigua no carbonatada y por consiguiente de alto pH.

Por frente de cloruros se entiende la posición de la interface entre una región contaminada por un cierto nivel de cloruros, suficiente para despasivar la varilla en aquella condición específica y una región contigua donde el nivel de cloruros todavía no alcanza el nivel suficiente para despasivar. Este contenido de cloruros varía en función de varios condicionantes entre el 0,05 y el 1% del peso del cemento.

El hecho de que el frente de carbonatación o un cierto nivel de cloruros hayan alcanzado la varilla y teóricamente la haya despasivado, no significa necesariamente que a partir de ese momento habrá corrosión importante. Ese período de tiempo, no obstante, es un período que debe ser tenido en cuenta al proyectar la estructura, en aras de la seguridad.

b) Un período de tiempo que va desde el momento en que aparecen manchas en la superficie del concreto, u ocurren fisuras en el concreto de recubrimiento, hasta cuando se presenta el desprendimiento del recubrimiento. A este período se asocia la vida útil de servicio o de utilización de la estructura. Este período es muy variable y depende de cada caso en especial, pues ocurre que, en ciertas construcciones, es inadmisibles que la estructura presente manchas de corrosión o fisuras. En otros casos sólo la caída de pedazos de concreto, que ponga en peligro la integridad de las personas, puede ser considerada como el momento a partir del cual se debe considerar cumplida la vida útil de servicio de la estructura.

c) Un período de tiempo que va hasta la ruptura o colapso parcial o total de la estructura. A este período de tiempo se asocia la llamada vida útil última o total. Corresponde al período de tiempo para el cual habrá una reducción significativa de secciones resistentes de la armadura o una pérdida importante de adherencia concreto-refuerzo, acarreado el colapso parcial o total de la estructura.

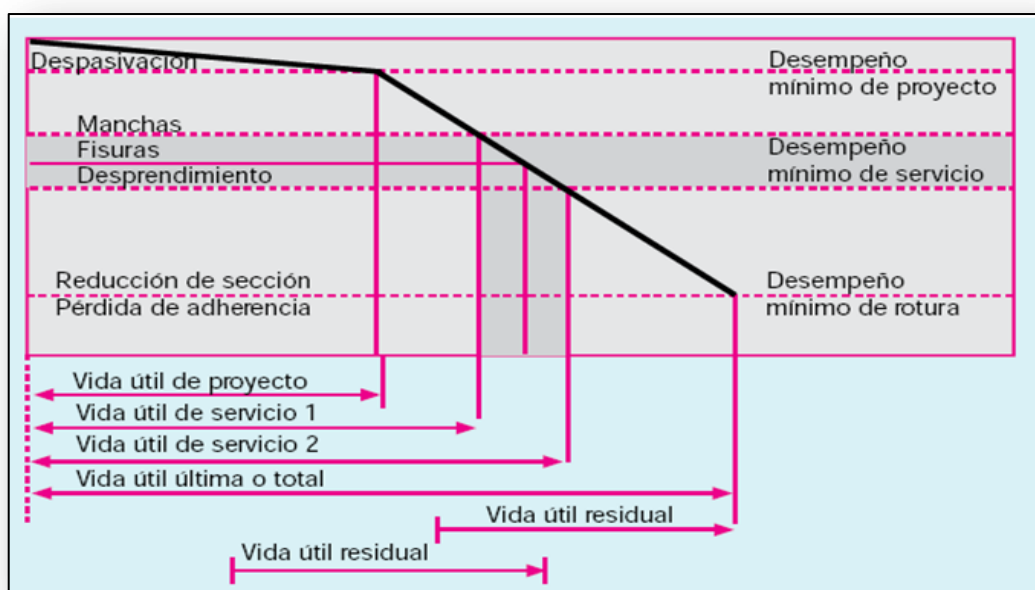


Figura 1.3 – Concepto de vida útil de las estructuras de concreto en función del fenómeno de la corrosión del refuerzo

1.5 PRINCIPALES ATAQUES PRODUCIDOS EN EL CONCRETO

1.5.1 ATAQUE POR CONGELACION

En concretos húmedos, expuestos a temperaturas menores de 0°C , puede presentar agrietamiento debido a la presión interna que se desarrolla en los poros capilares de la pasta como resultado del paso del agua al hielo, con aumento del volumen del orden del 9% durante el proceso de congelación de ésta.



Figura 1.4 – Ataque por congelamiento de una losa

Los esfuerzos producidos por el cambio de Estado Líquido a Sólido dan lugar a agrietamiento y deterioro de la pasta si no se toma las medidas adecuadas.

1.5.2 ATAQUES QUÍMICOS

1.5.2.1 ATAQUE POR ACIDOS

Siendo el concreto químicamente básico, con un pH del orden de 13, puede ser atacado por medios ácidos, con pH menor de 7, los cuales reaccionan con el hidróxido de calcio, de la pasta produciéndose compuesto de calcio soluble de agua.

1.5.2.2 ATAQUE POR BASES

Las bases son compuestos químicos que desprenden iones hidróxido en solución en agua. Ejemplo de bases son, el hidróxido de sodio o soda cáustica y el hidróxido de amonio o amoniaco. Si estos hidróxidos penetran en el concreto y se encuentran en una zona determinada se produce daño físico por cristalización y expansión a partir de la reacción entre el hidróxido y el bióxido de carbono, proveniente del aire.

1.5.2.3 ATAQUE POR SALES

Las sales son compuestos químicos derivados de ácidos o bases, formadas de la reacción entre ellos. Usualmente son solubles en agua. Los cloruros y nitratos de amonio, magnesio, aluminio, hierro, atacan al concreto, siendo el más peligroso el de Amonio.

1.5.2.4 ATAQUE POR AGUA

A) ATAQUE POR AGUA PURA

Las aguas puras conocidas como aguas blandas, atacan el concreto por disolución de la pasta al actuar sobre el Hidróxido de calcio libre. Adicionalmente los silicatos, aluminatos, y ferritos de calcio son descompuestos por disolución del Hidróxido de calcio.

B) ATAQUE POR AGUAS CASI PURAS

Las aguas del manantial, generalmente libres de sales, pueden volverse ácidas debido a la formación de ácido carbónico derivado del bióxido de carbono presente en la atmósfera transformándose en corrosivas al concreto, especialmente si éste es pobre o permeable.

1.5.2.5 ATAQUE POR AGUAS DE PANTANO

Las aguas de pantano pueden contener elementos tales como ácido carbónico o húmico, sulfatos solubles, ácidos sulfúrico libre, o combinación de éstos. La acción del ácido sulfúrico y ácido carbónico ya ha sido explicada. El ácido húmico, producido por el proceso de descomposición de la vegetación, ataca fundamentalmente a la superficie del concreto al formarse humato de calcio.



Figura 1.5
Pérdida de sección de acero útil



Figura 1.6
Pérdida de sección de acero útil

1.5.2.6 ATAQUE POR AGUA DE MAR

La destrucción del concreto por acción del agua de mar es debida a uno o varios de los siguientes factores:

- a) Acción mecánica del oleaje.
- b) Evaporación provocada por el viento lo cual deposita las sales por encima del nivel de baja marea.
- c) Diferencia de mareas que favorece la acción destructiva debido a la cristalización de sales.
- d) Reacción química entre las sales del agua y el concreto, la cual favorece a la corrosión del acero de refuerzo.
- e) Los organismos marinos y los productos de su actividad biológica.
- f) La acción destructiva debido a la corrosión y expansión del acero de refuerzo.

1.5.2.7 ATAQUE POR AGUA DE DESAGÜE

Bajo condiciones de alta concentración de aguas de desagüe, baja velocidad de flujo, y alta temperatura en la tubería de desagüe, se puede generar en ésta hidrogeno, sulfurado como resultado de la acción oxidante de las bacterias aeróbicas sobre los compuestos de azufre presentes en el desagüe.

Entre hidrógenos sulfurados se condensa en las superficies húmedas por encima del agua y es oxidado, por las bacterias aeróbicas, a anhídrido sulfuroso y luego a anhídrido sulfúrico, el cual en presencia de la humedad forma el altamente corrosivo ácido sulfúrico y destrucción del concreto.

El concreto atacado presenta un revestimiento de color blanco amarillento sobre su superficie escamosa, la misma que sufre un descascaramiento intermitente que puede producir ablandamiento y desprendimiento del agregado.

1.5.3 ATAQUES POR GASES

1.5.3.1 ATAQUE POR ANHIDRIDO CARBÓNICO

Si una concentración adecuada de bióxido de carbono, o anhídrido carbónico toma concentración con el concreto la superficie de éste puede ser seriamente afectada, variando la magnitud y profundidad del ataque, con la concentración de gas, temperatura ambiente, y humedad relativa.

La superficie afectada se tornará blanda y pulvurulenta, no pudiendo el daño ser reparado por subsecuente curado o tratamiento.

1.5.3.2 ATAQUE POR ANHIDRIDO SULFUROSO

El anhídrido sulfuroso, producido por la combustión del petróleo o carbón tiene poco o ningún efecto sobre el concreto.

En combinación con el agua forman ácido sulfuroso el cual reaccionan gradualmente con el oxígeno del aire para formar ácido sulfúrico. Ambos ácidos corroen el concreto.

1.5.3.3 ATAQUE POR OTROS GASES

Gases industriales disueltos en agua pueden formar ácidos. El cloro y el cloruro de hidrogeno forman ácido clorhídrico, el fluoruro de hidrógeno forma ácidos fluorhídrico; el bromuro de hidrógeno forma ácidos bromhídrico; y el yoduro de hidrógeno forma ácido yohídrico, todos éstos ácidos atacan al concreto pudiendo ser la corrosión muy fuerte si la concentración es alta.

1.5.4 ATAQUES POR SULFATOS

Los sulfatos de calcio, sodio, potasio y magnesio son responsables de algunos de los más destructivos ataques al concreto. El ataque se presenta en forma de expansión debida a la formación de productos sólidos cuyo volumen es mayor que el de las sales que entran en la reacción.

El sulfato de sodio reacciona con el aluminato de calcio hidratado para producir etringita con aumento de volumen. Igualmente reacciona con el Hidróxido de calcio para producir yeso cuyo volumen es el doble de los sólidos iniciales.

1.5.5 ATAQUE POR SUSTANCIAS ORGANICAS

Los ácidos orgánicos, acético presente en el vinagre, láctico presente en leche agria y butírico presente en las grasas agrias, atacan al concreto con una severidad que depende de la concentración y temperatura.

El formaldeído en solución acuosa se oxida para formar ácido fórmico el cual es corrosivo al concreto. El ácido tánico y los fenoles son medianamente corrosivos. Los ácidos palmitico, esteárico y oleico, presentes en aceites y grasas, tienen acción corrosiva que los aceites animales.

Los aceites vegetales pueden producir deterioro lento de las superficies del concreto. Los aceites animales rancios son corrosivos. Los aceites de pescado pueden ser más corrosivos aun que los aceites animales.

1.5.6 ATAQUES POR REACCIÓN DEL AGREGADO

1.5.6.1 ATAQUE POR REACCIÓN ÁLCALI – SILICE

Se han observado, desde 1940, expansiones en estructuras de concreto preparadas con el mismo cemento y diferentes tipos de agregados, o con el mismo agregado y diferentes tipos de cementos, concluyéndose que algún constituyente de ciertos cementos reaccionaba con algún tipo de elementos de ciertos agregados, produciendo expansiones excesivas y el correspondiente deterioro del concreto.

Los estudios han demostrado que los agentes responsables del cemento eran los óxidos de sodio y de potasio que al reaccionar con algún tipo de elemento de ciertos agregados, producían silicatos alcalinos que, debido a la naturaleza semipermeable de la pasta, producían presiones osmóticas con posterior destrucción del concreto.

Los estudios igualmente han demostrado que la reacción se produce siempre que los contenidos de óxido de sodio y potasio sean mayores de 0.6% en peso del cemento y los agregados contengan alguna forma reactiva de sílice.

Las manifestaciones típicas del deterioro del concreto debido a la reacción álcali-sílice son: expansión; fisuramiento; exudación del gel a través de los poros o fisuras formando escamas endurecidas o cordones duros sobre la superficie; zonas de reacción en las partículas de agregado afectadas en el concreto; y en algunos casos ampollas en la superficie del mismo.

1.5.6.2 ATAQUE POR REACCIÓN CEMENTO – AGREGADO

Se han presentado expansiones excesivas, acompañados de agrietamientos importantes, en concretos preparados, agregados gruesos de pequeño tamaño y altamente silicosos, a los que se conocen como “arenosos – gravosos” y que se presentan feldespatos y granitos de grano grueso como constituyentes importantes.

Estos agregados arenosos – gravosos presentan composición diversa y diferencias expansivas que permiten concluir que el tipo de agrietamiento producido es causado por reacciones fundamentalmente diferentes de aquellas involucradas en la reacción álcali – sílice.

Los concretos afectados por esta reacción suelen contener partículas reactivas con los álcalis, presentándose gel similar al hallado en la reacción álcalis – sílice, aun cuando no hay correlación entre la extensión del agrietamiento y el contenido de álcalis del cemento, habiéndose observado con excesiva expansión. Y el consiguiente agrietamiento en mezclas con cemento cuyo contenido de álcalis era solo del 0.17 % expresado como óxido de sodio.

1.5.6.3 ATAQUE POR REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADOS CARBONATADOS

Se han encontrado expansión excesiva y fisuramientos en concretos recién colocados en los que se había empleado agregado grueso proveniente de rocas dolomíticas carbonatadas, apreciándose que la expansión se incrementa con el contenido de álcalis del cemento.

En general, las rocas expansivas están en el grupo calizas dolomíticas en las que el 50% al 90% de los carbonatos escalcitan mineral y contienen arcilla, la matriz es de grano extremadamente fino y su textura consiste en pequeños rombos de dolomita aislados y diseminados en una matriz de arcilla y calcita finamente dividida.

1.5.6.4 ATAQUE POR AGREGADOS CONTAMINADOS

El carbón presente en el agregado puede contener compuestos de azufre que, por oxidación, puede dar ataques de sulfatos. Adicionalmente, la presencia de carbón puede producir decoloración y manchado de la superficie.

El óxido de magnesio presente en el concreto puede causar expansión y destrucción si la presión durante el secado produce minúsculas grietas en la pasta, las cuales permiten que el agua llegue a los granos de periclasa, óxido de magnesio nativo, que cuando está húmeda origina expansión y rotura. Algunos vidrios artificiales, al igual que los naturales, son expansivamente reactivos con los álcalis del cemento.

1.5.7 ATAQUES POR DESGASTE SUPERFICIAL

1.5.7.1 DESGASTE POR ABRASION

La abrasión del concreto es definida como el desgaste de su superficie debido a procesos de fricción o rozamiento. Si bien las partículas arrastradas por el viento pueden tener efecto abrasivo sobre las superficies del concreto, la más importante causa de abrasión de pisos y pavimentos es producida por el paso de personas, circulación de vehículos o rodadura de objetos o maquinas.

Entre los factores que disminuyen la resistencia del concreto a la acción de agentes abrasivos se pueden indicar; la exudación del concreto; su resistencia a la compresión; las propiedades de los agregados; los procedimientos de acabado; el procedimiento y tiempo de curado.

1.5.7.2 DESGASTE POR EROSIÓN

La erosión es definida como el deterioro causado por la acción abrasiva de fluidos o sólidos en movimiento. La resistencia a la erosión es importante en estructuras hidráulicas en la que el concreto está sometido a la acción abrasiva del agua en movimiento la cual transporta partículas sólidas.

La acción de choque, deslizamiento o rozamiento de tales partículas puede causar desgaste superficial del concreto.

La magnitud de la erosión depende del número, velocidad, tamaño, perfil, densidad y dureza de las partículas en movimiento por unidad de tiempo.

1.5.7.3 DESGASTE POR CAVITACIÓN

Se define como cavitación a la erosión progresiva del concreto originada por el flujo no lineal de aguas limpias a velocidades sobre los 12 m/s

El origen de la cavitación está en que, cuando se forman en aguas en movimiento, burbujas de vapor ellas fluyen conjuntamente con el agua. Cuando ingresan a una región de alta presión colapsan con un gran impacto. A este proceso de formación de burbujas de vapor y su posterior colapso se le conoce como cavitación. La energía que se libera durante este colapso puede ser lo suficientemente grande

como para desgastar grandes áreas de la superficie del concreto en tiempos comparativamente pequeños.

1.5.8 ATAQUE POR ALTAS TEMPERATURAS

El concreto puede estar sometido a altas temperaturas mayores que las normales en aquellos casos en que es utilizado en la construcción de chimeneas, conductos de gas caliente, pantallas contra radiación, o fuego accidental producto de un incendio.

Aspectos importantes del ataque al concreto son disminución de la resistencia; alargamiento de la longitud inicial; considerable expansión permanente; disminución del módulo de elasticidad y dureza; descomposición del agregado con liberación del cal libre; descascaramiento superficial, todo ello con posible expansión y fisuramiento y desprendimiento de trozos de concreto.

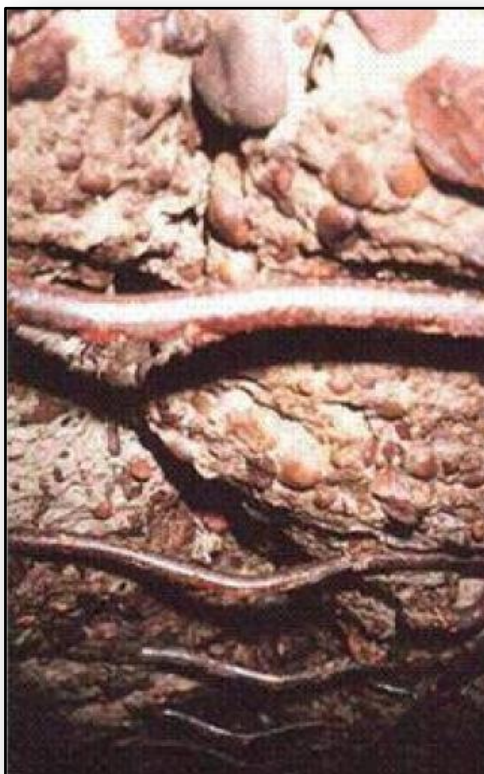


Figura 1.7
Estado de una estructura después de sufrir un incendio

1.5.9 ATAQUE POR RADIACIONES

La protección en las centrales nucleares de los efectos dañinos de las radiaciones, ya sean ellas partículas alfa o beta, protones, rayos gama o neutrones, se obtiene utilizando pantalla de concreto.

De las enunciadas las radiaciones más penetrantes son las gammas y los neutrones rápidos, considerándose que una pantalla de concreto que es efectiva para el control de ambos, también lo es para los otros tipos de radiaciones.

CAPITULO II: LA CORROSION Y EL CONCRETO

2.1 CORROSIÓN DE LA ARMADURA EN EL CONCRETO

El concreto armado es un material que se deteriora lentamente a través del tiempo; sin embargo. Cuando éste es preparado de mala calidad o presenta ataques físicos o químicos suelen presentarse daños que se manifiestan con agrietamientos, desprendimientos u otros tipos de daños que además de deteriorar al concreto pueden producir daños en el acero de refuerzo existente.

Una de las características más importantes que se debe buscar en la ejecución de un buen concreto es que éste sea resistente a la acción del clima, a los ataques químicos, a la abrasión o a cualquier otro proceso de deterioro. Por lo tanto, un concreto se denomina durable cuando mantienen su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio al estar expuesto a su medio ambiente. Usando un cemento adecuado y una mezcla adecuadamente dosificada se obtendrá un concreto resistente a los sulfatos del suelo, a las aguas freáticas o del mar.

La corrosión de la armadura en el concreto consiste en la oxidación destructiva del acero por el medio que lo rodea. Así, la corrosión ocurre como resultado de la formación de una celda electroquímica, la cual consiste en cuatro elementos principales (Fig.2.1):

- a) Un Ánodo, donde ocurre la oxidación.
- b) Un Cátodo, donde ocurre la reducción.
- c) Un Conductor Metálico donde la corriente eléctrica es el flujo de electrones.
- d) Un Electrolito, en ese caso el concreto, donde la corriente eléctrica es generada por el flujo de iones en un medio acuoso.

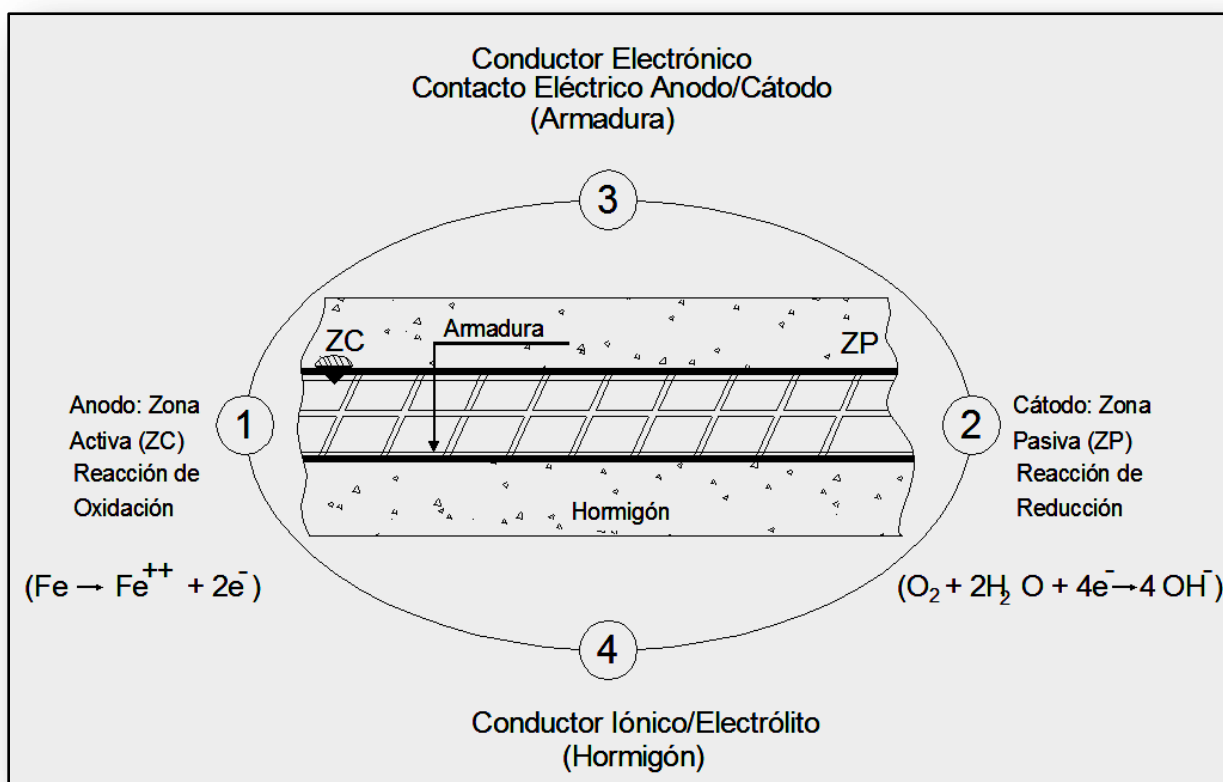


Figura 2.1. Representación electroquímica del concreto y el acero.

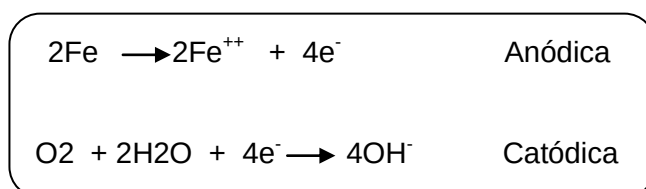
La corrosión electroquímica del acero en el concreto resulta de la falta de uniformidad en el acero (*diferentes aceros, soldaduras, sitios activos sobre la superficie del acero*)^{*4}, contacto con metales menos activos, así como también, de las heterogeneidades en el medio químico o físico (concreto) que rodea al acero. Ahora bien, aunque la potencialidad para la corrosión electroquímica puede existir debido a la falta de uniformidad del acero en el concreto, la corrosión formalmente se previene por la formación de esta película de óxido de hierro “pasivante”. Pero cuando las condiciones de servicio cambian el concreto se altera o a través de él penetran sustancias agresivas, se produce el rompimiento de ésta película y la corrosión de las armaduras se desencadena con una triple consecuencia:

- El acero disminuye su sección o incluso se convierte completamente en óxido.
- El concreto puede fisurarse o deslaminarse debido a las presiones que ejerce el óxido expansivo al generarse.
- La adherencia armadura-concreto disminuye o desaparece.

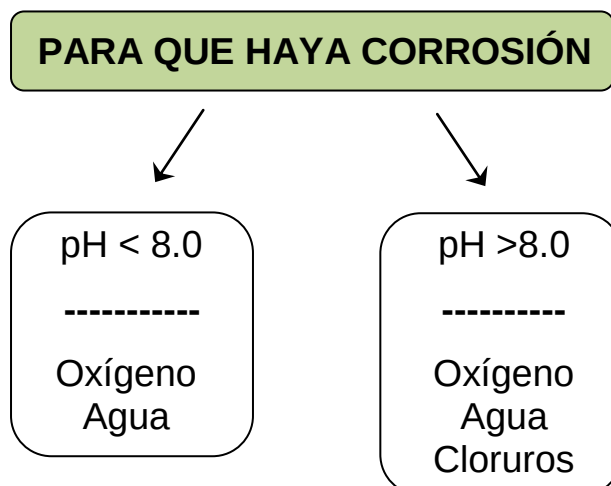
Para que la corrosión del acero pueda iniciarse y mantenerse existen dos mecanismos que en general son los más aceptados:

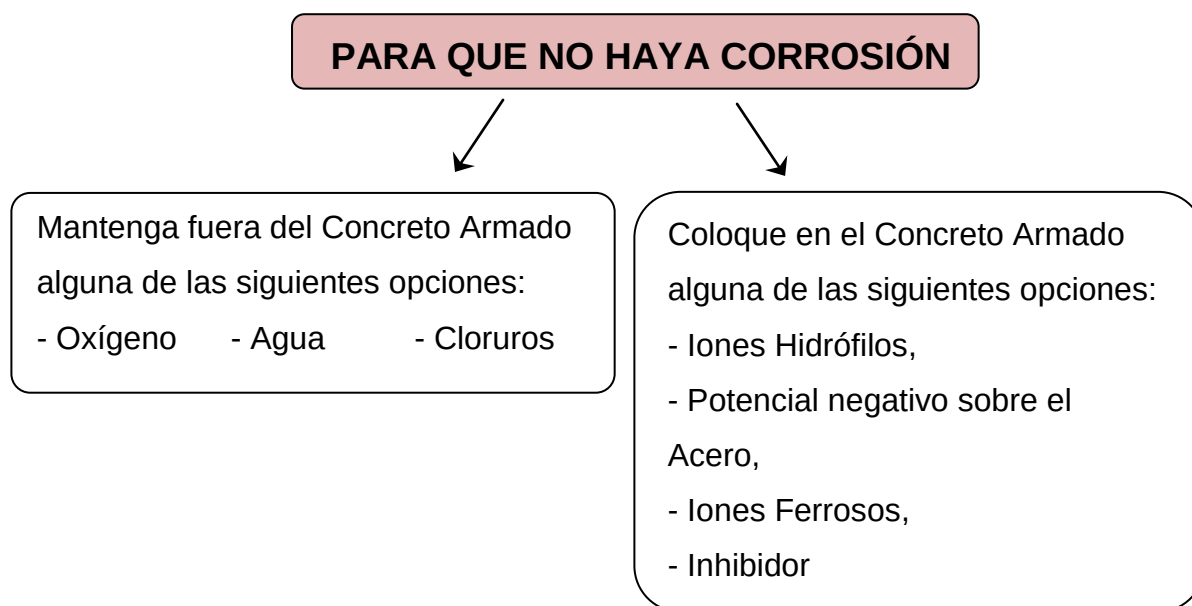
- a) Reducción de la alcalinidad por lixiviación de las sustancias alcalinas con agua o neutralización parcial con dióxido de carbono u otro material ácido.
- b) Por la acción electroquímica que involucra al ion cloruro en presencia de oxígeno.

Así, el acero se corroe por la reacción anódica que permite que él se disuelva como ion ferroso. Debe haber una reacción catódica simultánea, como la reducción de oxígeno, todo esto en presencia de agua.



Es importante resaltar que sin la presencia simultánea en el concreto de oxígeno y humedad no es termodinámicamente posible que se desarrolle con velocidad apreciable. Ambos factores tienen un carácter ambivalente, pues cuando las armaduras están pasivadas, una cierta cantidad de oxígeno y humedad pueden servir para engrosar la capa pasivante, pero, cuando las armaduras se corroen activamente actúan acelerando notablemente el ataque. En su ausencia, sin embargo, lo detienen completamente.





Así, los problemas de corrosión del acero estructural están íntimamente asociados a la despasivación del mismo, por el proceso electroquímico resultante de las variaciones del medio químico sobre las distintas fases concreto/acero y de las diferencias metalúrgicas y mecánicas del metal. Estas variaciones originan gradientes de potencial, con flujo de corrientes eléctricas llevando a la formación de áreas anódicas y catódicas que constituyen las celdas de corrosión.

El primer signo de corrosión es la aparición de una capa gris o parda a lo largo del eje del acero de refuerzo antes de que se forme la fisura, aunque algunas veces ocurre primero. Adicionalmente, las manifestaciones externas del proceso de oxidación incluyen manchas, decoloración, agrietamiento, descaramiento y astillamiento de la superficie del concreto, adicionalmente la sección transversal del acero se reduce pudiendo presentarse en el tiempo, problemas estructurales debido a la pérdida de adherencia acero/concreto, por agrietamiento de éste o a la reducción en la sección transversal.

2.2 CORROSIÓN DE MATERIALES EMBEBIDOS

El acero pre-esforzado está sometido a procesos corrosivos bajo las mismas circunstancias que podría producir corrosión en el acero ordinario. Podría indicarse

un proceso corrosivo si su pasividad desmejora y se activa una celda galvánica debido a las diferencias en el pH, oxígeno, o la concentración de cloruros. El hidrógeno sulfurado humedecido podría causar corrosión del acero pretensado, la cual es más peligrosa que de la refuerzo normal.

El aluminio embebido puede corroerse y agrietar el concreto. La posibilidad de corrosión es mayor si el acero está en contacto con el aluminio, si existen cloruros en concentraciones apreciables o si el cemento tiene un alto contenido de álcalis.

Al aumentar el área de acero en relación con el área del aluminio, especialmente si los metales están en contacto y existen cloruros en contenidos apreciables, se aumenta la corrosión del aluminio. Si al ponerse en contacto el concreto fresco con el aluminio, se presenta gas hidrógeno, aumenta la porosidad y por tanto la posibilidad de una futura penetración de agentes corrosivos.

2.3 TIPOS DE CORROSIÓN

En el concreto armado, las formas que puede adoptar la corrosión de la armadura son diversas. Fontana ha clasificado los diferentes tipos/formas de corrosión de acuerdo a la apariencia física del ataque. Según esto en el caso del acero embebido en el concreto, los diferentes tipos de corrosión que pueden presentarse:

2.3.1 CORROSIÓN LOCALIZADA

2.3.1.1 Corrosión Por Picaduras

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

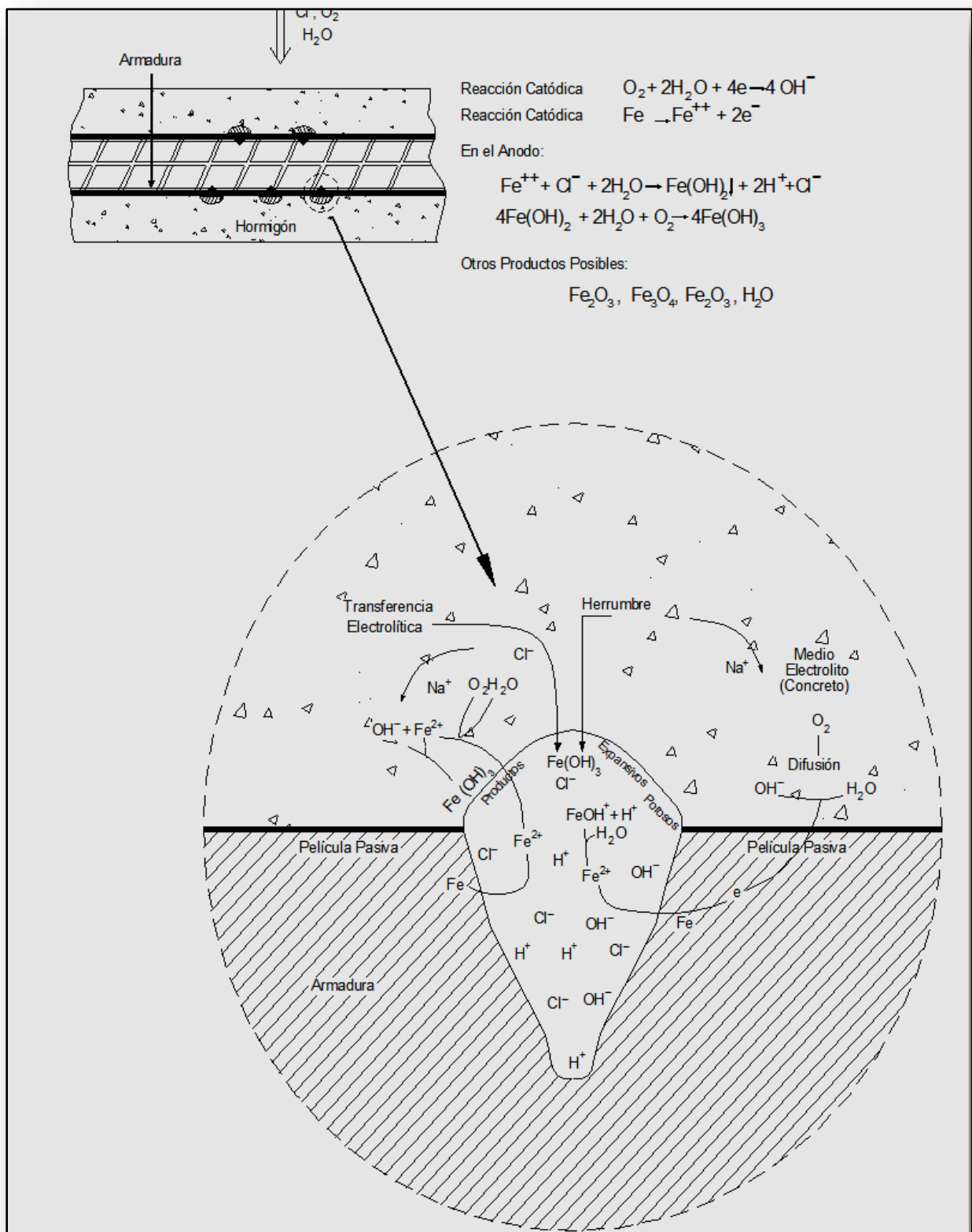


Figura 2.2. Representación química de la corrosión por picaduras.

De esta manera, se forma una celda de corrosión donde existe un área pasiva intacta, actuando como cátodo en la cual se reduce el oxígeno y una pequeña área donde se ha perdido la película, actuando como ánodo, en la cual ocurre la disolución del acero.

Varios factores actúan en conjunto para mantener o profundizar las picaduras existentes, más que para extender la corrosión o generar nuevas picaduras. Como ya es dicho, las picaduras son autocatalíticas, ya que generan las condiciones necesarias y suficientes para su continuo crecimiento.

2.3.2 Corrosión en Espacios Confinados

La corrosión de éste tipo puede ocurrir cuando sobre la superficie del metal existe un espacio lo suficientemente resguardado que evita el acceso continuo del oxígeno a esa zona, pudiendo crearse celdas diferenciales de oxígeno que inducen a la corrosión del esfuerzo.

Existen varias situaciones que pueden inducir a éste daño. Entre ellas se puede mencionar la inyección de grietas (estructurales o por corrosión) con material epóxico donde ya el medio agresivo ha llegado al refuerzo, siendo ésta zona donde la corrosión se aceleraría por la falta de acceso de oxígeno. Otro ejemplo puede ser la corrosión del acero de refuerzo con revestimiento como por ejemplo en el caso de uso de epóxicos cuando la adhesión entre éste y el acero se ha deteriorado.

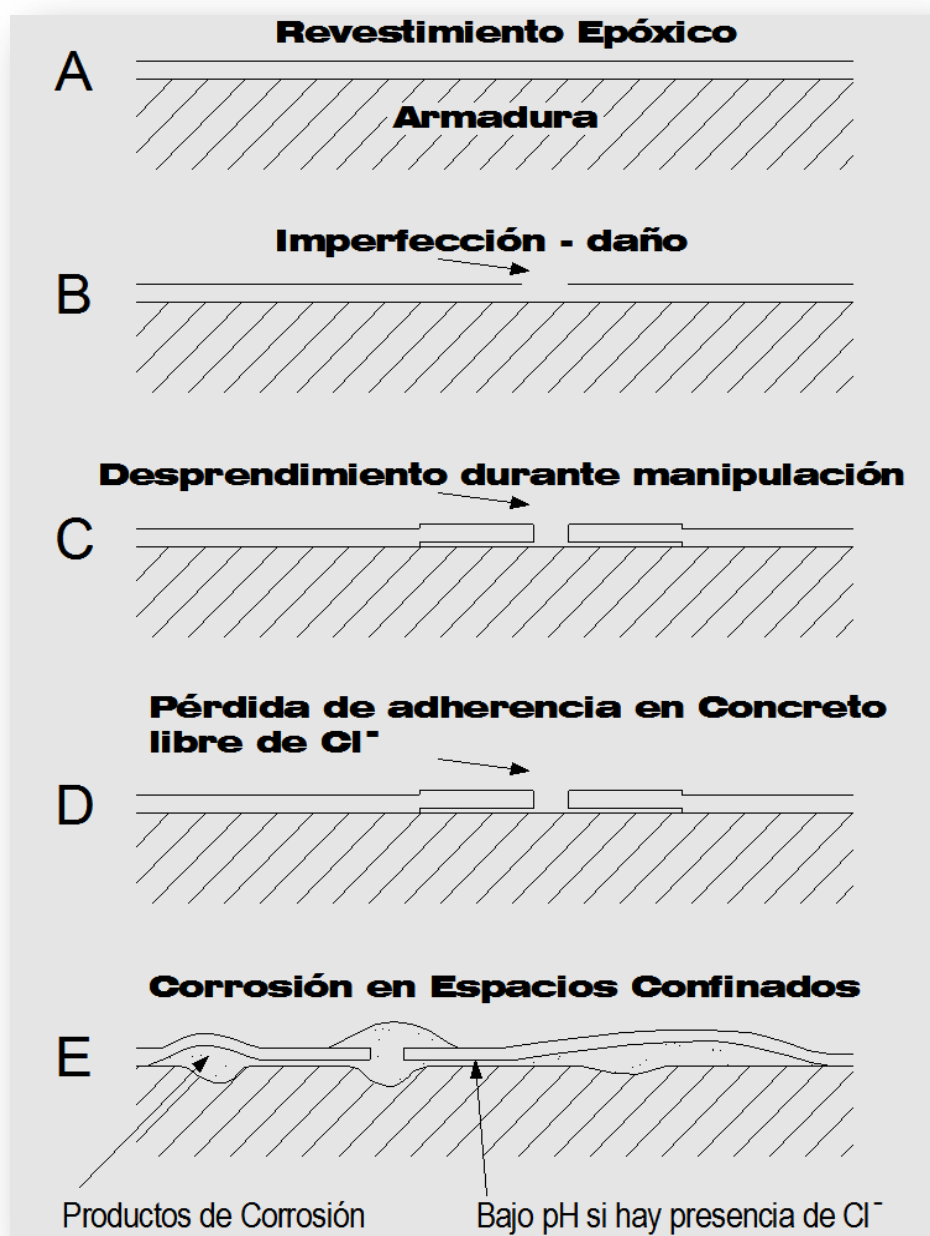


Figura 2.3. Representación de los estados de Corrosión.

2.3.3 Corrosión bajo Tensión

Este tipo de corrosión ocurre cuando se dan conjuntamente dos circunstancias: esfuerzos de tracción y un medio agresivo. Esto ocurre preferencialmente en concreto pre o postensado, donde se utilizan aceros de alta resistencia debida, en general, a la presencia de hidrógeno atómico difundido, a través del metal.

2.3.4 Corrosión por Corrientes de Interferencia

Las corrientes de interferencia, llamadas también vagabundas, erráticas o de fuga (términos utilizados en algunos países), pueden ser definidas como las corrientes que fluyen en una estructura y que no forman parte del circuito eléctrico/celda electroquímica específica. Para que ocurra corrosión por corrientes de interferencias debe existir un intercambio entre una estructura metálica y un medio electrolítico.

La corriente continua es la que tiene el efecto más pronunciado sobre la corrosión, ya que ésta fluye continuamente en un solo sentido. Por el contrario la corrosión alterna, que interviene su dirección alrededor de una centena de veces por segundo, puede causar un efecto mucho menos pronunciado.

Las fuentes más comunes de corrientes son:

- **Sistemas de protección catódica**, operando en las cercanías de estructuras de concreto armado, especialmente en medio de baja resistividad, como lo es el agua salobre
- **Sistema con Potencia Eléctrica**, como los trenes eléctricos, máquinas de soldar, donde la estructura conectada a tierra se encuentra a cierta distancia de los electrodos de soldar; corrientes Telúricas (asociadas a la actividad solar y al campo magnético de la tierra).

Independientemente de la fuente, las corrientes que fluyen en un medio electrolítico son manifestaciones de diferencias de voltaje. Si en el entorno de éstos gradientes de voltajes se encuentra situada una estructura de concreto reforzada con acero, puede existir un intercambio de corriente, con el mismo, donde el punto de entrada de corriente actuaría como cátodo, pero la salida sería la zona anódica que podría causar la disolución del metal, corroyéndolo.

2.3.5 Corrosión Uniforme/Generalizada

La corrosión uniforme es el resultado de una pérdida generalizada de la película pasiva, resultante de la carbonatación del concreto y/o la presencia de excesiva cantidad de iones cloruros. También puede ocurrir por efecto de la “lixiviación” del

concreto producido por la precolación y/o lavado por aguas puras o ligeramente ácidas.

La figura muestra un ejemplo específico, donde se puede observar el mecanismo mediante el cual ocurre corrosión por efecto de carbonatación.

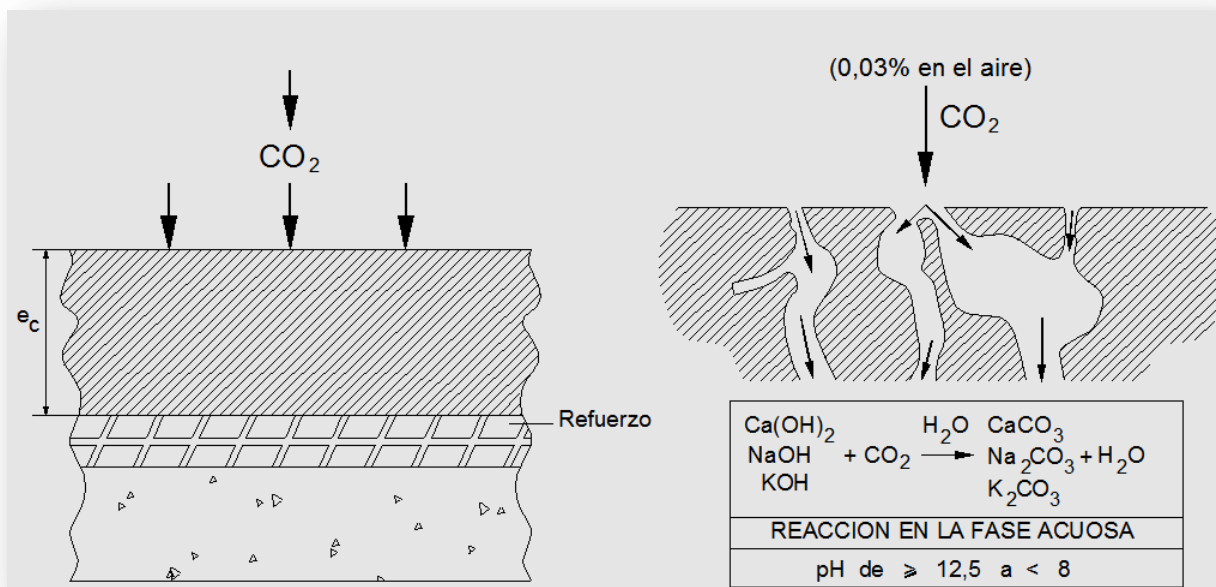


Figura 2.4. Mecanismo de corrosión por efecto de carbonatación.

2.3.6 Corrosión Galvánica

Este tipo de corrosión se puede dar cuando existen dos metales diferentes en el medio electrolítico. En el caso del acero en concreto, esta situación se dará cada vez que en alguna zona se dañe o no se forme la película pasiva característica. Esta zona actuará como un ánodo frente al resto del material, donde permanece la pasivación, la cual actuará como cátodo. También se podría presentar cuando el refuerzo se encuentre en contacto con otros conductores más nobles. En general, se asocia al funcionamiento de una macrocelda. Un ejemplo típico es el caso de armaduras exteriores que se corroen al ingresar los cloruros, mientras que las armaduras interiores permanecen pasivas.

2.4 FACTORES QUE AFECTAN Y DESECADENAN LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS

Se denomina así a aquel conjunto de circunstancias que la despasivación del acero afecta al concreto. Como ya se mencionó con anterioridad, que la corrosión solo se provoca si el pH baja hasta valores ácidos, por lo que serán pues factores que afectan o desencadenan todos aquellos que den lugar a una neutralización del medio alcalino propio del concreto o bien, como es el caso de las fisuras y coqueras entre el acero y el concreto.

Existen varios factores que afectan, desencadenan o producen ambos efectos en el proceso de corrosión en las armaduras. De tal manera que la dosificación, la compacidad y la homogeneidad del concreto, así el espesor de cubrimiento del concreto, el estado superficial de la armadura y la humedad ambiental son los factores que afectan este proceso. Por otra parte, los factores desencadenantes que con más frecuencia dan lugar a la corrosión de la armadura son: presencia de cangrejeras en contacto con la armadura, altas tensiones mecánicas en el acero (creación de resquicios en fisuras), corrientes erráticas o de interferencia, contacto galvánico entre dos metales, iones despasivantes (Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, etc.), CO_2 atmosférico o cualquier líquido que neutralice la alcalinidad, lixiviación por aguas blandas y las fisuras, presentando estos últimos, ambos efectos.

2.4.1 DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO

El concreto debe ser sólido, homogéneo, compacto, resistente y poco poroso, que garantice, además de sus significativas prestaciones mecánicas, la protección de la armadura de acero de la estructura, de las acciones agresivas de los agentes externos.

La dosificación del concreto es un factor que influye de forma significativa en el comportamiento futuro de éste, como elemento protector del acero de refuerzo.

El concreto que envuelve las barras de acero de una armadura debe cumplir una doble función protectora:

- a) Como barrera física que se opone a la penetración de los agentes agresivos externos y,
- b) Creando una capa pasivante sobre el acero – en virtud de su alcalinidad – que lo mantiene protegido durante un tiempo indefinido. Teniendo en consideración estas dos funciones del concreto de recubrimiento del acero, es determinante dosificarlo por métodos que proporcionen su máxima compacidad, lo que significa garantizar su mínima porosidad.

La porosidad de la masa del concreto la aporta fundamentalmente la pasta del cemento endurecida y es a través de ella que el agua ejerce su función de vector de transferencia de los elementos agresivos externos, razón por la cual la relación agua/cemento, el grado de hidratación y la cantidad de pasta son factores determinantes en la cantidad y tipos de poros en el concreto.

Los nuevos conocimientos científicos avalados por la práctica de producción aportan que en el diseño de las mezclas de concreto hay que tener en cuenta los siguientes factores que garantizan su máxima compacidad y por ende, su durabilidad:

- a) La forma de proporcionar los áridos componentes de la mezcla, que garantice el menor volumen de vacío que será ocupado por la pasta de cemento endurecida.
- b) La influencia que ejerce la cantidad de agua de la mezcla en la consistencia del concreto en estado fresco.
- c) La influencia de la relación agua – cemento, la cual podrá ser mejorada substancialmente con el uso de aditivos químicos.
- d) La influencia del grado de hidratación del cemento en la cantidad de poros del concreto endurecido.
- e) La influencia de la “característica” de los áridos que se empleen en la calidad final del concreto.

2.4.2 COMPACIDAD Y HOMOGENEIDAD

La **compacidad** del concreto es la propiedad más importante del mismo a los efectos de su resistencia a la penetración de los agentes agresivos externos. Ella es

inversamente proporcional a la porosidad y mientras más alta sea la primera, expresada en magnitud está protegido el acero de la armadura contra los ataques de los cloruros, que son los agentes agresivos más importantes.

La compacidad del concreto esta expresada por la cantidad de materia sólida que está contenida en una unidad cúbica, o es la relación entre el volumen sólido y el volumen aparente total. Esta se mide como la relación entre la suma de los volúmenes absolutos de materias sólidas (grava, arena y pasta de cemento endurecido) contenida en un metro cúbico de concreto, referido al volumen aparente del mismo.

La compacidad es función, principalmente, de la cantidad y calidad de los materiales y de la adecuada proporción entre ellos. Sin embargo, cumpliéndose con esta condición, la compacidad puede afectarse por un mal mezclado y un mal transporte, ya que esto afecta la homogeneidad del concreto, propiciando la segregación de los materiales. De igual manera, la segregación puede producirse por un procedimiento deficiente en la colocación del concreto y/o inadecuado proceso de compactación.

Las mezclas con relación a/c baja ($<0,4$) son usadas en ambientes agresivos por la alta protección brindada a la armadura (baja porosidad y alta alcalinidad). Sin embargo, un curado deficiente de estas mezclas impide la hidratación total del cemento, induciendo esto a un déficit de formación de gel que se manifestará en un incremento de la porosidad y por lo tanto disminución de su compacidad.

Por otra parte, **la homogeneidad** del concreto es la cualidad por la cual los distintos componentes del mismo aparecen igualmente distribuidos en toda su masa, de manera tal que dos muestras tomadas de distintos lugares de la estructura fabricada con el mismo concreto, resulten prácticamente iguales. El concreto, por su origen, es un material heterogéneo y se puede lograr su homogeneidad mediante un adecuado proceso tecnológico de producción, transporte, colocación, compactación y curado.

De tal manera que un concreto que tenga una adecuada compacidad y homogeneidad garantizaría la protección de la armadura, en el ambiente específico

para el cual fue diseñada la mezcla. En la práctica, para obtener esto se debe cumplir con una serie de actividades secuenciales, las cuales se encuentran íntimamente ligadas entre sí. Estas actividades son:

- Buena selección y proporción de los materiales.
- Buena operación de mezclado.
- Buena calidad en la ejecución de los procedimientos de transporte, colocación, curado y donde sea aplicable, una cuidadosa operación de desmolde.

2.4.3 ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO

La protección que confiere el concreto que recubre las barras de acero de una estructura de concreto armado o pretensado dependerá del grado de impermeabilidad de éste, que a su vez estará dada por su compacidad y homogeneidad en esa zona.

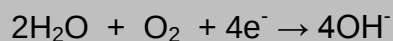
En muchos casos esta masa de concreto no cumple con sus funciones específicas porque suele ser menos compacta y más porosa que el resto del volumen que constituye el elemento. Este fenómeno puede producirse por varias causas, siendo la más importante una mala compactación del concreto.

El espesor de esta capa de concreto es importante para garantizar la protección de la armadura, dependiendo del ambiente al cual va a estar expuesto. Existen normas internacionales, donde se especifican los espesores adecuados de acuerdo a la agresividad ambiental.

Sin embargo, estructuralmente es recomendable que este espesor sea al mínimo indispensable, ya que por ser una zona desprovista de armadura, pudiera verse afectada por fisuración, particularmente si el elemento está sometido a esfuerzos de tracción. Por tal motivo, las normas recomiendan que en ambientes agresivos debe utilizarse una mezcla de calidad con alto contenido de cemento y baja relación de a/c , garantizando así que espesores de 2 a 3 pulgadas permitan una alta durabilidad de la estructura.

2.4.4 HUMEDAD AMBIENTAL

La presencia de agua es imprescindible para la corrosión en medios neutros y alcalinos, pues interviene en el proceso catódico de reducción del oxígeno:



Además, el agua es necesaria para la movilidad de los iones a través del electrolito. En el concreto seco, la resistividad eléctrica es tan elevada que impide que la corrosión se produzca aun en ausencia de la capa pasivante sobre el acero; solo la existencia de una cierta cantidad mínima de humedad en los poros del concreto mayor sea el contenido de humedad en los poros del concreto, menor será el valor de la resistividad eléctrica y más elevada podrán ser, en principio las velocidades de corrosión.

El contenido en agua de los poros es función, en situaciones o no saturación, de la humedad relativa (HR) del ambiente. La humedad relevante, es decir, la que influye en los procesos de corrosión, es realmente contenida en los poros. A este respecto, debe tenerse presente que la humedad ambiental y la del concreto sólo coinciden en regímenes estacionarios y que en condiciones cambiantes es mayor la humedad del concreto, porque éste pierde agua a menor velocidad de lo que gana a causa de la existencia de tensiones capilares. Éste último fenómeno puede verse acrecentando cuando el concreto esté contaminado por cloruros, a causa del carácter hidroscópico de los mismos. Así mismo, aunque el ambiente exterior esté seco, el interior del hormigón no se seca más que cuando tales circunstancias se prolongan largo tiempo.

En la mayoría de los concretos, a partir de 3-4cm de medio exterior, los poros siempre se encuentran saturados o casi saturados de humedad. Este comportamiento está muy influenciado por la porosidad del concreto, ya que concretos muy porosos permitirán una “respiración” más profunda que hormigones más densos, cuya “piel” sólo “respirará” en los 1-2cm más externos.

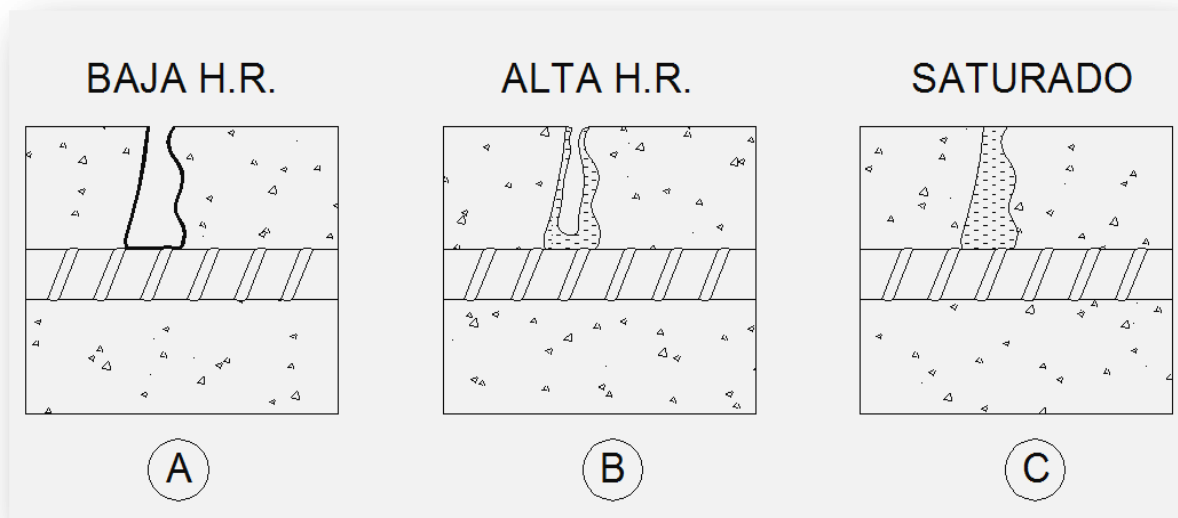


Figura 2.5. Efecto del Contenido de Humedad en los poros del hormigón, en la Corrosión de la armadura.

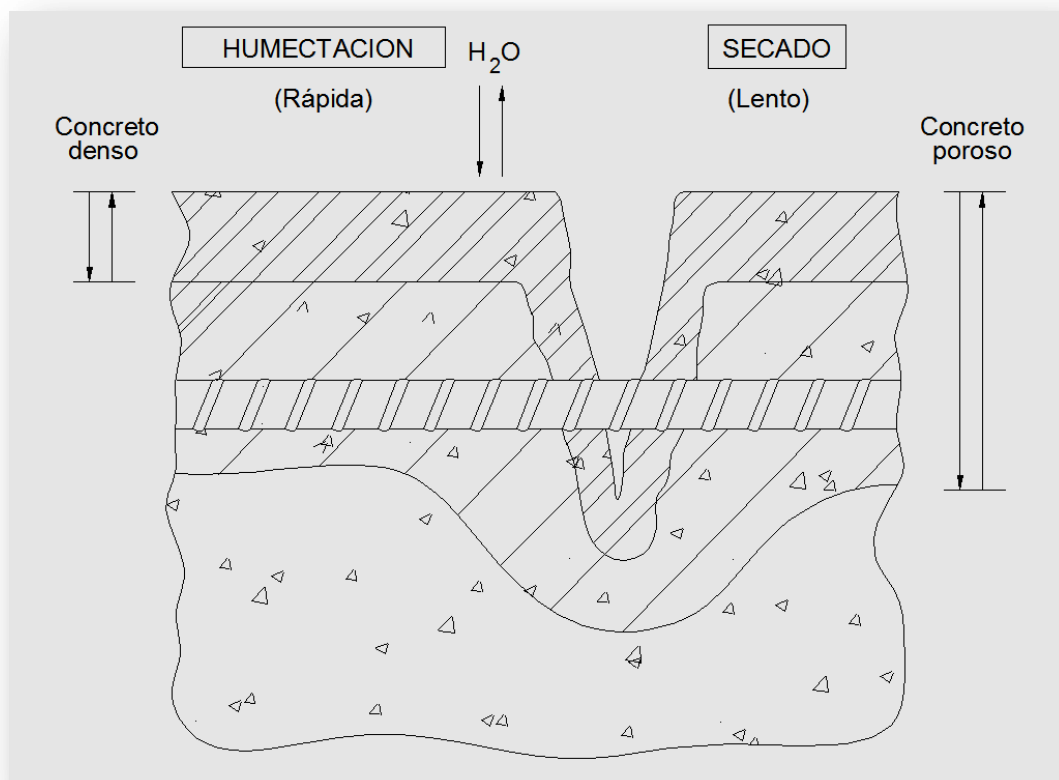


Figura 2.6. Efecto del Contenido de Humedad en los poros del hormigón, en la Corrosión de la armadura.

2.4.5 EFECTO DEL OXÍGENO

No es posible que el proceso de corrosión se desarrolle sin que llegue una mínima cantidad de oxígeno hasta las armaduras, es decir, es necesaria una cierta “aireación” de las mismas.

Durante mucho tiempo se ha considerado que el acceso o flujo de oxígeno es el factor determinante de la velocidad de corrosión. Así, se piensa a menudo que el espesor del recubrimiento influye mucho en el acceso de oxígeno y se han realizado múltiples trabajos para medir la permeabilidad del concreto al oxígeno, al aire o a los gases. Pero el estado actual de conocimientos descarta esta hipótesis, por lo que no son válidas las extrapolaciones al fenómeno de corrosión de las armaduras de los ensayos de permeabilidad del concreto, cuando se utiliza la presión mecánica como fuerza impulsora de los gases.

2.4.6 EFECTO DE LA TEMPERATURA

La temperatura juega también un doble papel en los procesos de deterioro. Por un lado, su incremento promueve la movilidad de las moléculas facilitando el transporte de sustancias; por otro lado, su disminución puede dar lugar a condensaciones que, a su vez, pueden producir incrementos locales importantes del contenido de humedad del material. Además, la cantidad absoluta de vapor de agua en la atmósfera varía con la temperatura. Existe un defecto opuesto entre humedad y temperatura, ya que al aumentar esta última se evapora humedad y cuando desciende, condensa agua líquida en los capilares.

2.4.7 ESTADO SUPERFICIAL DEL ACERO

Siendo la superficie del acero la primera interfase con el medio, es lógico pensar que su estado superficial afectará las reacciones que tendrían lugar en contacto con él. En términos generales, el acero cuya superficie posee la cubierta de óxidos provenientes del proceso de conformado (“mill scale”) se presenta menos reactivo que aquél cuya superficie está libre de dicha capa. No obstante la presencia de

productos de oxidación productivos por la corrosión atmosférica no necesariamente demuestra igual comportamiento, siendo incluso altamente probable que de estar contaminados con agentes agresivos como el ión cloruro, se propicie la corrosión.

2.4.8 TENSIONES MECÁNICAS DEL ACERO

Los aceros de pre y postensado son de composición eutectoide (alrededor del 0,8% de C) y suelen estar sometidos a tensiones entre el 60 y el 80% de su límite elástico. Estas elevadas tensiones no representan ningún riesgo si el acero está exento de imperfecciones de óxidos superficiales y si el concreto que lo rodea es de elevada calidad.

En el concreto donde la carbonatación alcance los alambres tensados o donde haya ciertos iones despasivantes (SNC^- , S^- , Cl^-), el riesgo de una corrosión bajo tensión existe. Este tipo de corrosión se caracteriza por incubar grietas no visibles al ojo humano, que se propagan con relativa rapidez hacia el interior.

Alcanzada una pérdida de sección crítica, el alambre se rompe de forma frágil, donde se puede apreciar la mayor estricción (reducción de sección) que se produce en una rotura dúctil, en comparación con la casi nula que se detecta en una rotura frágil.

La única forma de confirmar el tipo de rotura es mediante el estudio microscópico de las superficies fracturadas.

2.4.9 CORRIENTES ERRÁTICAS O DE INTERFERENCIA

Como ya se indicó estas corrientes son aquellas que, por diversas causas, abandonan sus circuitos naturales para circular por el medio en el que se encuentran los conductores, siguiendo así caminos no previstos.

En el caso de estructuras de concreto armado se ha demostrado que este efecto es importante para acelerar la corrosión de las armaduras. Esto induce a un rápido

incremento en la disolución localizada del material, pudiendo llegar a ser un daño catastrófico.

2.4.10 CONTACTO GALVÁNICO ENTRE DOS METALES

El contacto de las armaduras con otros metales no suele ocasionar su corrosión en ausencia de agentes desencadenantes. Sin embargo, deberá evitarse este contacto, pues podrían existir determinadas circunstancias que sitúen al acero en condiciones más favorables para la despasivación, si los otros metales lo polarizan hacia potenciales más anódicos. En general, el contacto acero-inoxidable o acero-cobre no produce la corrosión. El contacto con zinc o aluminio puede ser incluso favorable ya que induce una cierta protección catódica a la armadura.

2.4.10.1 Iones Despasivantes

De los iones despasivantes, son los cloruros los que más afectan directamente la pasivación del refuerzo. Los iones sulfato intervienen en la degradación del concreto, lo cual puede permitir que la armadura se exponga al medio, produciéndose así su corrosión.

2.4.10.2 Cloruros

Como ya se ha señalado, provocan una disolución localizada de la capa pasiva, dando lugar a ataques puntuales (picaduras) que pueden reducir drásticamente la sección de trabajo del acero, en espacios de tiempo relativamente cortos.

Los cloruros pueden encontrarse en la masa del concreto por dos causas:

- Porque los contengan las materias primas (aditivos, agua, cemento o áridos)
- Porque penetren desde el exterior al estar situada la estructura en ambientes marinos o estar sometida a la acción de sales de deshielo.

Tres son los aspectos relevantes a tener en cuenta en el caso de los cloruros que penetran desde el exterior:

- El tiempo que tardan en llegar hasta la armadura.
- La proporción que induce la despasivación.

- La velocidad de corrosión que provocan una vez desencadenada la corrosión.

En cuanto al tiempo que tardan los cloruros en llegar a la armadura en una estructura ya construida, lo importante es averiguar a qué profundidad han penetrado en el momento de hacer la inspección, ya que el recubrimiento de concreto debe ser superior a la profundidad que sean capaces de alcanzar estos iones en el tiempo previsto de vida útil de la estructura.

La velocidad de avance de los cloruros es, en general, una función de la raíz cuadrada del tiempo:

$$X_{Cl} = K_{Cl} \sqrt{t}$$

X_{Cl} = profundidad alcanzada por una cierta proporción de cloruros

T = tiempo

K_{Cl} = constante dependiente del concreto y medio

Ello es debido a que, en general, los procesos de difusión pura, como los de absorción capilar, siguen una ley potencial.

El cálculo riguroso de X es complejo debido a la multitud de parámetros que influyen (porosidad del concreto, tipo de cemento, nivel de contaminación exterior, contenido en humedad del concreto, etc.).

Una de las expresiones matemáticas que más se emplea para efectuar la predicción de la velocidad de penetración, o para ser ajustadas a los perfiles de concentración de cloruros encontrados en las estructuras reales, es la solución de la segunda ley de Fick:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Que se conoce como la “ecuación de la función de error”:

$$C_x = C_s \left(1 - \operatorname{erf} \frac{X_{Cl}}{42 \sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right)$$

C_x	=	concentración a la distancia
C_s	=	concentración superficial
X_{Cl}	=	profundidad alcanzada
D_{ap}	=	coeficiente aparente de difusión
t	=	tiempo

Esta ecuación, aunque se utiliza muy ampliamente, es igualmente reconocida como de limitado uso con fines de predicción, dado el comportamiento no rigurosamente “de Fick” que presenta la penetración de cloruros en el concreto.

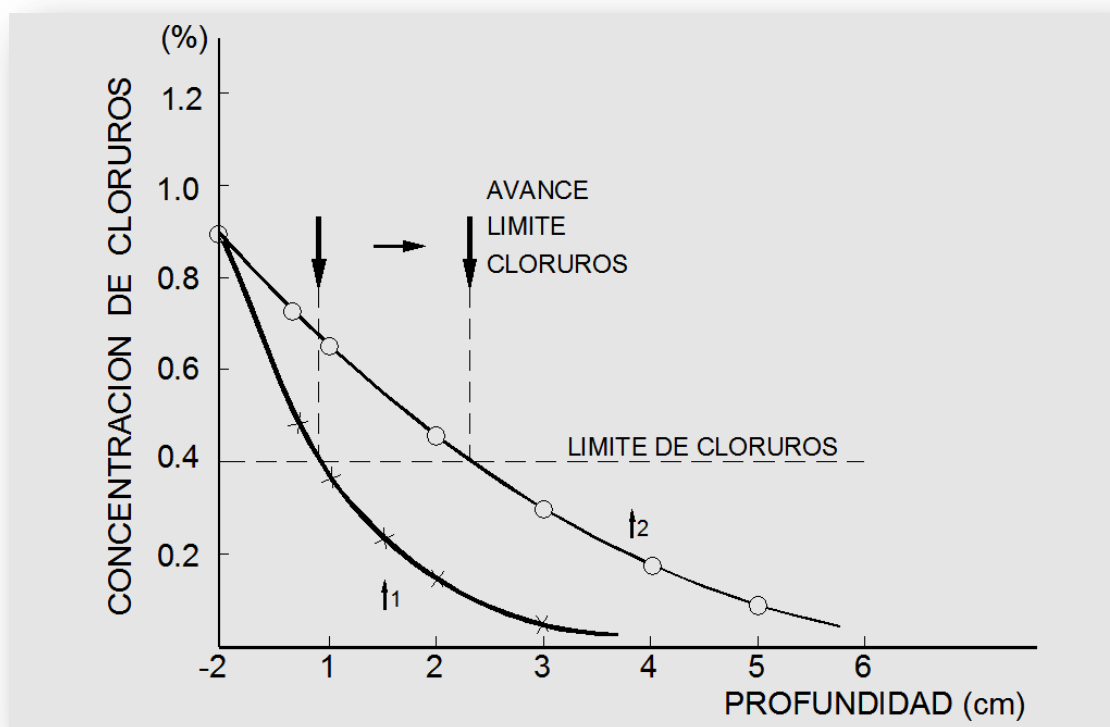


Figura 2.7. Grafica Cloruros vs Profundidad en el comportamiento del Concreto.

Con fines prácticos parece mucho más apropiado el uso de la simple ley de la raíz cuadrada $x = k_{Cl}\sqrt{t}$, ya que engloba de forma aproximada todos los mecanismos posibles. Así, se puede deducir que es necesario una K_{CL} entre 3 y 4 mm/año, si se

quiere asegurar que los cloruros no lleguen a más de 3-4cm de profundidad entre 50-75 años.

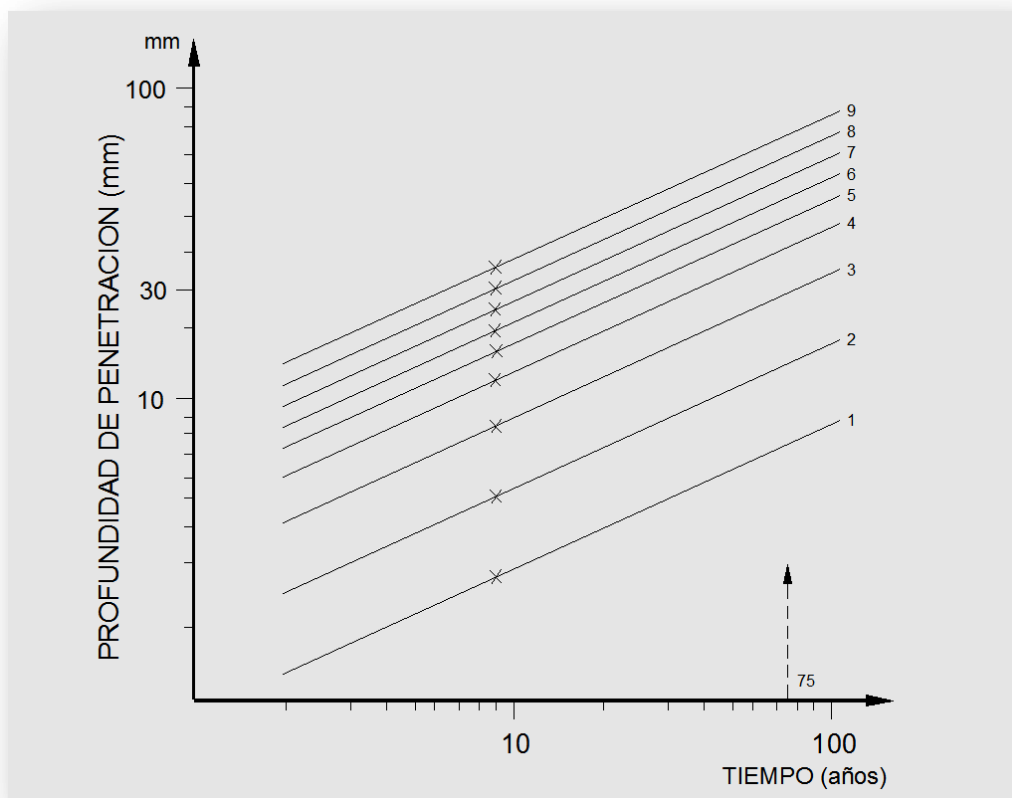


Figura 2.8. Profundidad vs Tiempo, en el comportamiento del Concreto.

2.4.10.3 Sulfatos

El Ion sulfato (SO_4^{-2}) puede estar presente en las aguas residuales industriales en forma de disolución diluida de ácido sulfúrico; en las aguas del subsuelo, pocas veces aparece el ion sulfato libre, siendo mucho más frecuentes sus sales, es decir, los sulfatos. El contenido de sulfatos, por tanto, será expresado como concentración del anión SO_4^{-2} en mg/L. Antes se acostumbraba enjuiciar el riesgo de degradación basándose en el contenido de SO_3^{-2} de los terrenos o de las agua. La conversión del valor de SO_3^{-2} a la forma de SO_4^{-2} se logra multiplicando por 0.83.

El ion sulfato forma sales. Los sulfatos perjudiciales para el concreto se encuentran preferentemente en los terrenos arcillosos o en sus capas freáticas. De estas sales las más importantes son las siguientes: Los sulfatos más peligrosos para el cemento Portland son los amónicos, cálcico, magnésicos y sódicos; los sulfatos potásicos, cúprico y alumínico son menos peligrosos, mientras que los sulfatos báricos y el de plomo son insolubles y, por lo tanto, inofensivos para el concreto.

2.4.11 Carbonatación

Se denomina así al proceso en que el dióxido de carbono de la tmósfera reacciona con los componentes alcalinos de la fase acuosa del concreto y da lugar a una neutralización de todo el material. La Fig.2.9 muestra el cambio abrupto de pH que se produce en el interior del concreto y que es el que da lugar a la aparición de un frente “carbonatado”, que se revela muy bien con el indicador fenolftaleína.

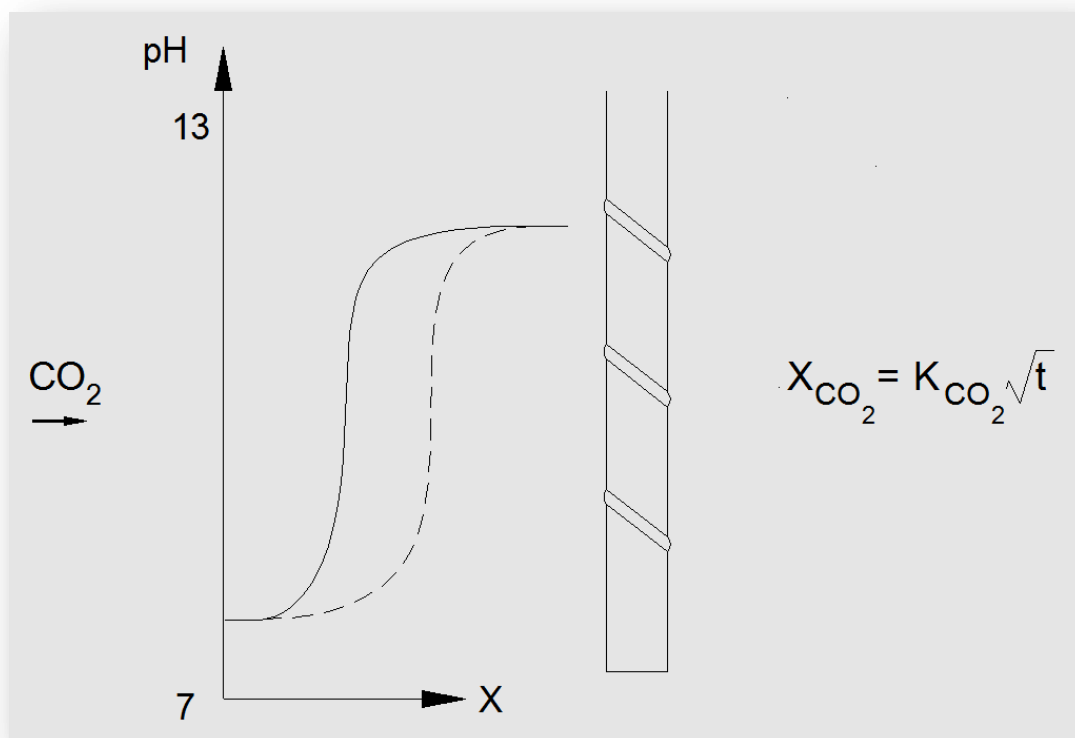


Figura 2.9. Grafico de cambio de PH en el interior del Concreto.

Cuando este frente llega hasta la armadura, ésta se despasiva de forma generalizada como consecuencia de la disminución del pH.

La velocidad de avance de este frente carbonatado es también de vital importancia para calcular el tiempo que tardará éste en llegar hasta la armadura.

La velocidad de avance es función fundamentalmente de:

- a) El contenido en humedad del concreto.
- b) Su porosidad (relación a/c).
- c) Su contenido en materia alcalina carbonatable.

El contenido e humedad resulta crucial, si los poros están completamente secos, el CO_2 no podrá reaccionar y, si están completamente saturados, su penetración será lentísima, debido a la baja solubilidad del CO_2 en el agua.

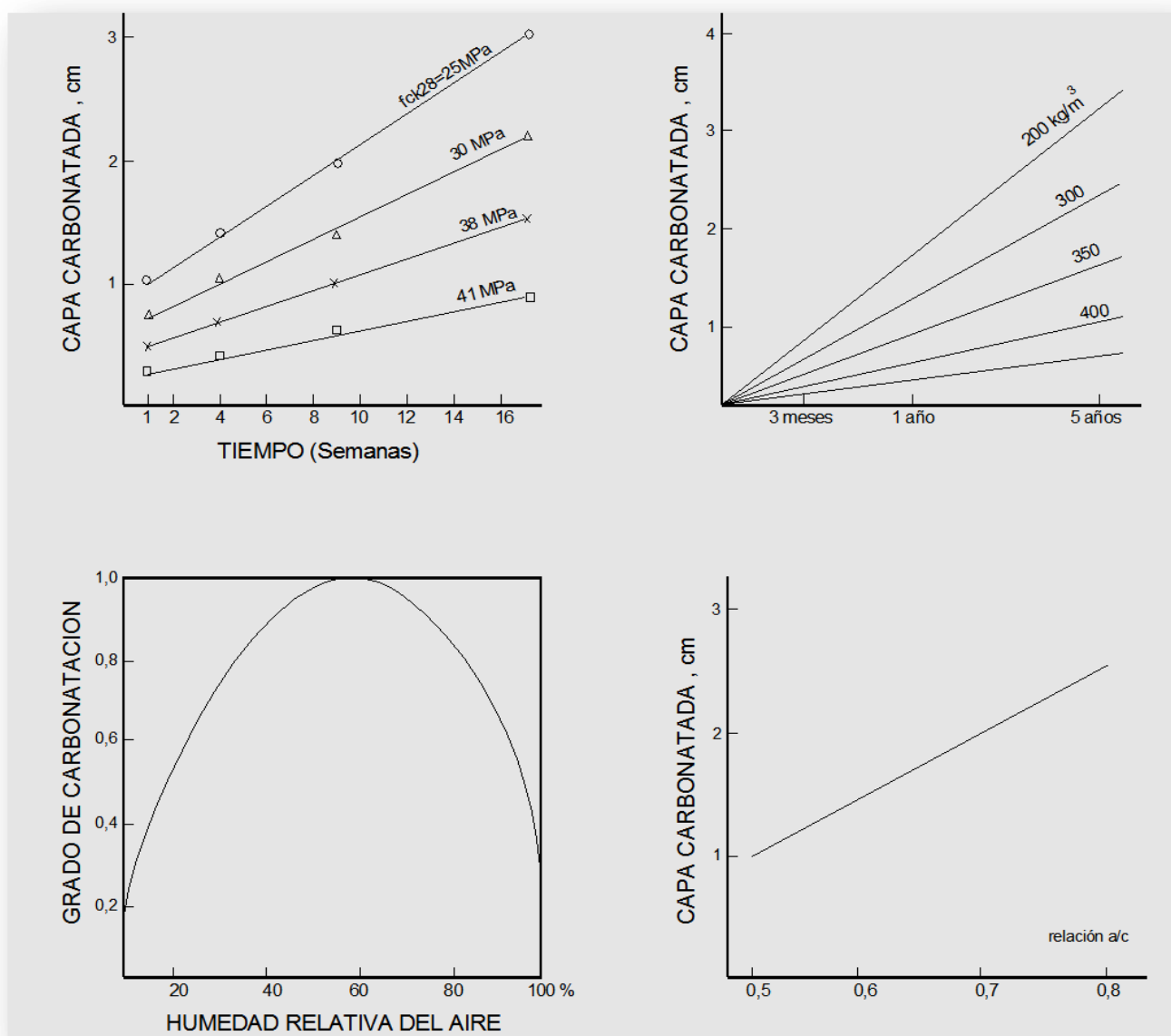


Figura 2.10. Efecto del Espesor Carbonatado en la resistencia del concreto, el
Contenido en cemento, la relación a/c y la humedad ambiental.

La porosidad del concreto es también un parámetro muy importante, ya que los poros capilares de menor tamaño están generalmente siempre saturados de humedad y por lo tanto inaccesibles a la carbonatación. Los concretos porosos se carbonatan a gran velocidad. En general las velocidades de corrosión serán mucho menores que en el caso de los cloruros.

Otra circunstancia favorable a tener en cuenta es que, al igual que en el caso de la corrosión atmosférica, la corrosión desencadenada por la carbonatación puede dar

lugar a capas de herrumbre con características protectoras que atenúan la velocidad de corrosión subsecuente.

Todo ello hace de la carbonatación un fenómeno mucho menos peligroso que la corrosión por cloruros.

2.4.12 Lixiviación por Aguas Blandas

La degradación del concreto no sólo puede ser causada por agua que contenga sustancias agresivas, sino también por aguas totalmente puras, libres de sales, por aguas blandas que tengan pocas impurezas o por aguas de condensación industrial, aguas de fusión de glaciares, aguas de nieve, aguas de lluvia, aguas pantanosas blandas y algunas aguas procedentes de grandes profundidades. El concreto es rápidamente atacado por las aguas blandas agresivas, las cuales tienden a disolver el calcio de la estructura.

La lixiviación del Hidróxido cálcico del concreto, es decir, la reducción de su contenido de CaO , conduce, por lo tanto, a la destrucción de los restantes componentes del concreto, silicatos, aluminatos y ferritos hidratados; como consecuencia, el concreto pierde su resistencia y se desmorona. Las combinaciones anteriormente citadas sólo son estables mientras que la concentración del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ del agua del cemento sea superior a un cierto valor que recibe el nombre de *concentración límite* o *umbral*. Los concretos de cemento Portland son atacados fuertemente y destruidos cuando el contenido de CaO del cemento, determinado analíticamente, se reduce en más de un 20% como resultado de la lixiviación. Este efecto permite que el acero de refuerzo se corroa, ya que pierde su película pasiva al exponerse directamente al ambiente por el desmoronamiento del concreto.

La filtración y la lixiviación de un concreto pueden ser evitadas o dificultadas por aumento de su compacidad, mediante tratamientos superficiales o por impermeabilización.

2.4.13 Presencia de coqueras en contacto con armaduras

Las discontinuidades producidas por la formación de coqueras interiores hacen que haya zonas de la armadura sometida a la elevada humedad del interior del concreto, pero sin estar en contacto con la alcalinidad alguna. Estas zonas se corroerán de la misma forma que si estuvieran sometidas a una atmósfera de elevada humedad.

2.4.14 Existencia de Fisuras

Las fisuras estructurales (transversales a las armaduras) constituyen en un principio un camino rápido de llegada de los agresivos hasta la misma.

Las fisuras del concreto, originadas por solicitaciones mecánicas sobre la estructura, se disponen, en general, en planos perpendiculares a las armaduras puesto que éstas se colocan precisamente para absorber las tensiones de tracción que el concreto por sí solo no puede soportar. Sin embargo, limitar la deformación de tracción de acero para que no supere la de la rotura en tracción del concreto y así evitar las fisuras transversales supone un desperdicio económicamente inaceptable de la capacidad de las armaduras.

Las fisuras que acompañan las armaduras en su misma dirección son, en general, resultantes de un proceso de corrosión ya iniciado. Pueden sin embargo, aparecer también por procedimientos constructivos incorrectos, como por una retracción de fraguado en ciertas condiciones, estribos con muy bajo rendimiento, estados tensionales de compresión elevados por defecto del módulo de Poisson.

La abertura máxima de fisuras se limita, entre otras exigencias, por la durabilidad de la armadura. Los códigos suelen limitar el ancho de fisura a valores entre 0.1 y 0.3mm.

La incidencia de la abertura de la fisura en la corrosión de la armadura depende de factores como:

- La agresividad del medio ambiente.

- El recubrimiento de la armadura
- La calidad del concreto.

En la actualidad existe la tendencia a considerar que la mayor o menor agresividad no depende del tamaño de la abertura como tal, sino que se piensa que por debajo de un determinado valor de la abertura de la fisura (entre 0.3 y 0.4mm), ésta no incrementa el riesgo de ataque.

La tendencia actual en relación a la abertura máxima de fisuras para estructuras de concreto armado es pues, acotarla por el valor de 0.4mm al considerarse que por encima de este valor el riesgo de ataque no se incrementa. Igualmente se limita indirectamente la abertura por recomendaciones constructivas: recubrimiento de la armadura, diámetros y espaciamientos entre barras y calidad del concreto (a/c, adiciones).

En cuanto a las fisuras longitudinales debidas a asentamientos tradicionales del concreto o a retracción plástica, se puede asimismo considerar que se comportarán, en cuanto a la durabilidad, de forma similar a las transversales. Aunque el área de armadura expuesta al ataque es mayor en las fisuras longitudinales, este hecho se balancea con la circunstancia de lo muy localizado que es el ataque en las transversales.

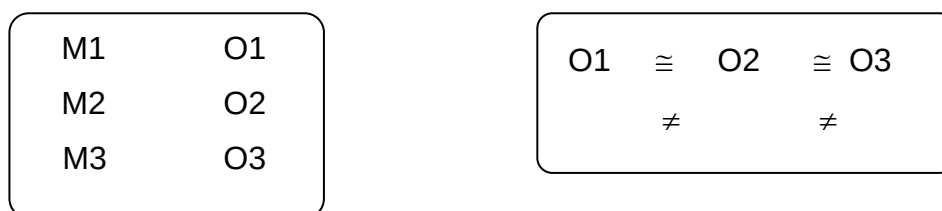
CAPITULO III: DESCRIPCION Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

3.1 TIPO DE INVESTIGACION

La investigación realizada fue de Tipo Descriptiva Comparativa.

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACION

El diseño seleccionado a emplearse en el presente estudio, es el diseño Descriptivo Comparativo de 3 muestras, el cual responde al siguiente esquema:



Donde:

M1, M2, M3 representan a cada una de las muestras:

- ✓ **M1** = muestra de las obras de concreto armado recolectada en el P.J. Primero de Mayo (Zona I).
- ✓ **M2** = muestra de las obras de concreto armado recolectada en el P.J. Villa María (Zona II).
- ✓ **M3** = muestra de las obras de concreto armado recolectada en la Urb. El Trapecio (Zona III).

O1, O2, O3 es la información u observaciones recolectada en cada una de dichas muestras. De O1 a O3 en la parte lateral del diagrama, nos indica las comparaciones que se llevan a cabo entre cada una de las muestras, pudiendo estas observaciones, resultados, información ser: iguales ($=$), diferentes ($\neq$), o semejantes ($\cong$) con respecto a la otra.

3.3 POBLACION Y MUESTRA DE ESTUDIO

Población: Conformada por todas las Obras de Concreto Armado en las 3 zonas de Estudio: P.J. Primero de Mayo, P.J. Villa María, y Urb. El Trapecio de la Provincia de de Chimbote.

Muestra: La muestra se seleccionará al azar, consistiendo en 15 obras de concreto armado de cada zona de estudio, obteniéndose un total de 45 obras estudiadas.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

3.4.1 Elaboración de una Ficha de Inspección Visual General de la Estructura.

3.4.2 Elaboración de cuadros Estadísticos de cada Zona inspeccionada.

3.4.3 Elaboración de cuadros comparativos de las zonas inspeccionadas.

3.5 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCION DE DATOS

3.5.1 Coordinación con los Dirigentes de cada zona para facilitar el acceso a las obras.

3.5.2 Contacto con los propietarios para realizar la Inspección Visual General de la Estructura

3.5.3 Aplicación de las Fichas de Inspección Visual, acompañado del Registro Fotográfico de Daños.

3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento de la información utilizaremos aspectos de la Estadística Descriptiva mediante la Técnica de Datos Agrupados y No Agrupados, y se presentarán organizados en cuadro con respectivo gráfico de barras para su mejor ilustración.

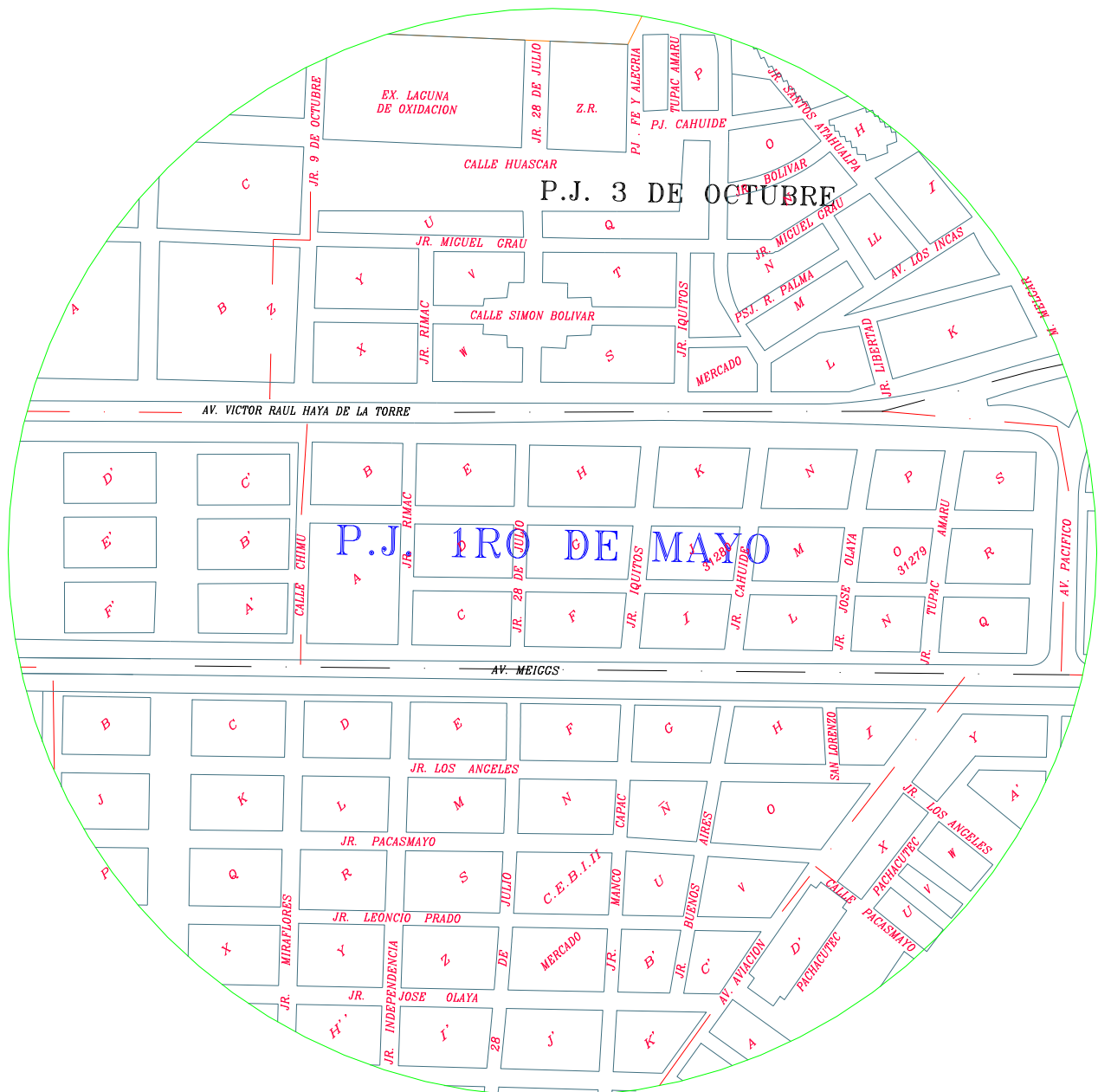


Figura 3.1. Localización de la Zona de Estudio I – P.J. 1ero de Mayo.



Figura 3.3. Localización de la Zona de Estudio III – Urb. El Trapecio.

INSPECCION GENERAL DE LAS VIVIENDAS



Foto 3.1. Identificación de Mancha de Humedad, en la vivienda V-3 (Av. Brasil P-9) de P.J. Villa María. Se manifiesta que, la mayoría de viviendas sufren de este peculiar daño.



Foto 3.2. Identificación de Grietas, en la vivienda V-9 (Mza G- Lote 18) de la Urb. Trapecio. La presencia de estos daños, son en menor proporción, comparándolos con otras viviendas.

INSPECCION GENERAL DE LAS VIVIENDAS



Foto 3.3. Identificación de Eflorescencia, en la totalidad de las viviendas del PJ 1er de Mayo y PJ Villa María, en cambio en gran cantidad en la zona de Urb. El Trapecio.



Foto 3.4. Identificación de Acero Oxidado, en la vivienda V-2 (Mza J- Lote 08) de la Urb. Trapecio. Se evidencia un porcentaje mayor al 60%, en cada una de las tres zonas de estudio.

INSPECCION GENERAL DE LAS VIVIENDAS



Foto 3.5 y 3.6. Se visualizan edificaciones con un promedio general de 20 años. La mayoría de estas, no cuenta con un adecuado mantenimiento y reparación, sea el caso, de las sus elementos que lo componen.

INSPECCION GENERAL DE LAS VIVIENDAS



Foto 3.7 y 3.8. Se visualizan edificaciones con un promedio general de 20 años. La mayoría de estas, no cuenta con un adecuado mantenimiento y reparación, sea el caso, de las sus elementos que lo componen.

CAPITULO IV: RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 EXPLICACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LAS FICHAS DE INSPECCION VISUAL

Se aplicó la ficha de Inspección Visual General de la Estructura, teniendo en cuenta el nombre y la firma de autorización y conformidad del propietario para realizar la inspección, además se tomó en cuenta la edad de la estructura, realizando a la vez un levantamiento de daños, localizándose en los diferentes elementos estructurales mediante croquis, a la vez se realizó un registro fotográfico que acompaña a dichos formatos.

Las muestras fueron seleccionadas al azar, empezando por la Zona I: P.J. Primero de Mayo, continuando con la Zona II: P.J. Villa María, y culminando con la Zona III: Urb. El Trapecio de la Ciudad de Chimbote; escogiendo una muestra de 15 obras hechas de concreto armado en cada zona, obteniéndose una muestra de 45 estructuras.

4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y CUADROS

A continuación se presentan los resultados de las Fichas de Inspección Visual y consolidados a nivel de daños.

TABLA 4.1.
RESUMEN DE INSPECCION VISUAL EN LA ZONA P.J VILLA MARIA DE LA
CIUDAD DE CHIMBOTE.

RESUMEN DE INSPECCION VISUAL					
ZONA: P.J. VILLA MARIA					
CODIGO	TIPO	UBICACIÓN	EDAD	DAÑOS	OBSERVACION
V-1	VIVIENDA	Jr. José Olaya G'-12	12	B,C,D,G	Presencia de Óxido en Acero de refuerzo
V-2	VIVIENDA	Av. Perú L'-16	23	B,D	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-3	VIVIENDA	Av. Brasil P-9	25	B,D,F	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-4	VIVIENDA	Av. Brasil J-3	25	B,D,F	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-5	VIVIENDA	Av. Perú J-19	20	A,B,C,D	Existencia de Corrosión en el Acero .
V-6	VIVIENDA	Av. Perú J-20	23	B,C,D,G	Existencia de Corrosión en el Acero .
V-7	VIVIENDA	Av. Perú W-2A	15	B,C,D,G	Existencia Grave de Corrosión en el Acero .
V-8	VIVIENDA	Jr. Gonzales Prada M'-15	30	B,C,D,G	Existencia Grave de Corrosión en el Acero .
V-9	VIVIENDA	Panamericana Sur Mz.H Lt.10	25	B,D	Existencia de Corrosión en el Acero .
V-10	VIVIENDA	Jr. Manco Cápac G - 09A	15	B,C	Presencia de Óxido en Acero de refuerzo
V-11	VIVIENDA	Jr. Pacasmayo N-2A	15	A,B,C,D	Existencia Grave de Corrosión en el Acero .
V-12	VIVIENDA	Jr. Leoncio Prado Z-17	20	B,D	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-13	VIVIENDA	Jr. Pacasmayo S-18	23	B,C,D	Presencia de Óxido en Acero de refuerzo
V-14	VIVIENDA	Jr. Miraflores K-19	30	A,B,C,D	Existencia Grave de Corrosión en el Acero .
V-15	VIVIENDA	Jr. Los Angeles L-14	35	B,D	No hay Presencia de Corrosión de Acero

TABLA 4.2.
CUADRO DE DAÑOS DE LAS VIVIENDAS DEL P.J VILLA MARIA

CUADRO DE DAÑOS			
CODIGO	DAÑO	N. DE VIVIENDAS	%
A	Grietas o Fisuras	2	13.33%
B	Eflorescencia	15	100.00%
C	Acero Oxidado	9	60.00%
D	Manchas de Humedad	14	93.33%
E	Protuberancia	0	0.00%
F	Concreto Foyo	2	13.33%
G	Cangrejas	4	26.67%

GRAFICO 4.1.
TABLA RESUMEN DEL CUADRO DE DAÑOS

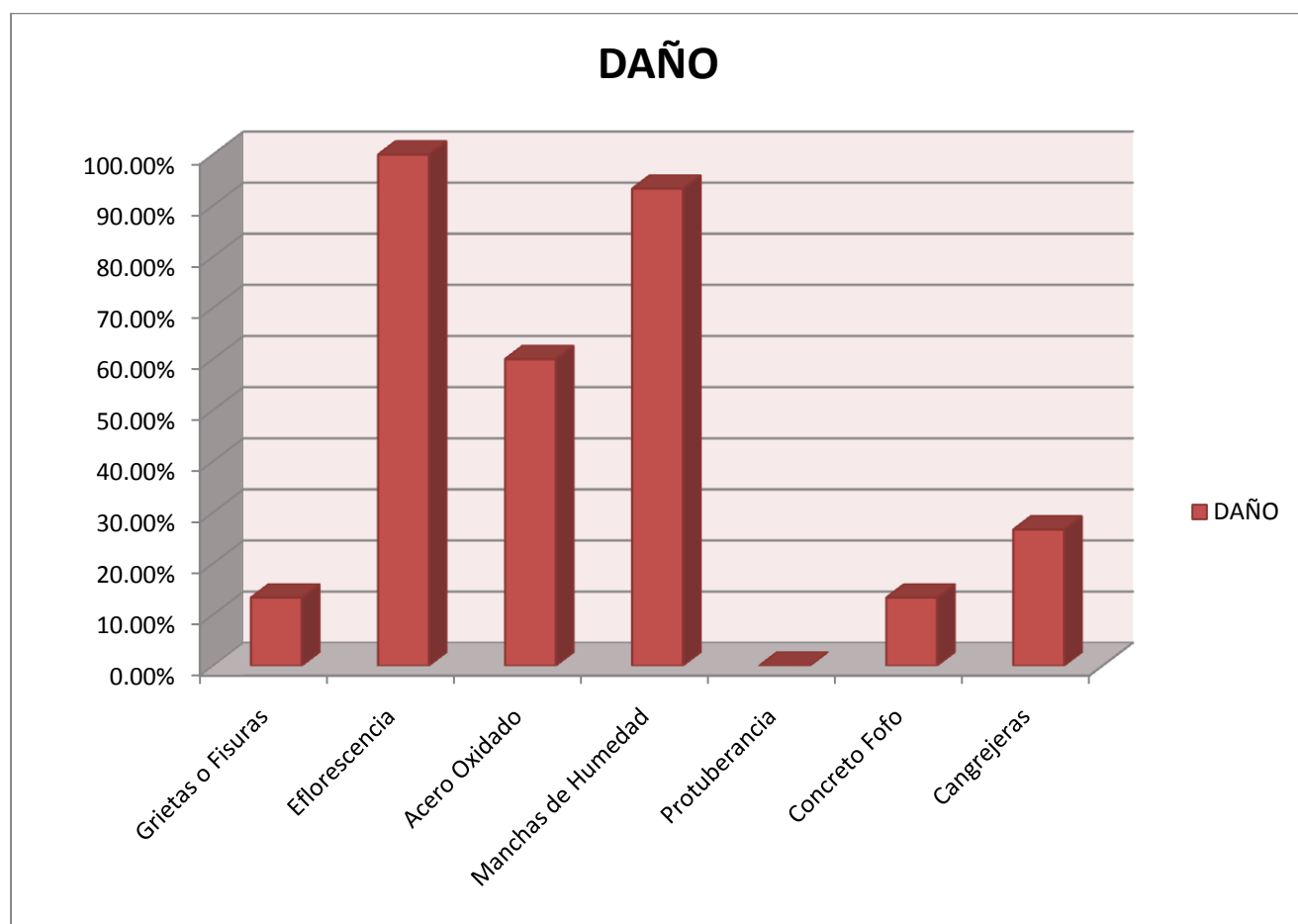


TABLA 4.3.
CUADRO DE EDADES DE LAS VIVIENDAS DEL P.J VILLA MARIA

CUADRO DE EDADES		
EDAD (años)	VIVIENDAS	%
0-10 AÑOS	0	0.00%
11-20 AÑOS	6	40.00%
21-30 AÑOS	8	53.33%
31-40 AÑOS	1	6.67%
41-50 AÑOS	0	0.00%
51-60 AÑOS	0	0.00%

GRAFICO 4.2.
TABLA RESUMEN DEL CUADRO DE EDADES DE LAS VIVIENDAS

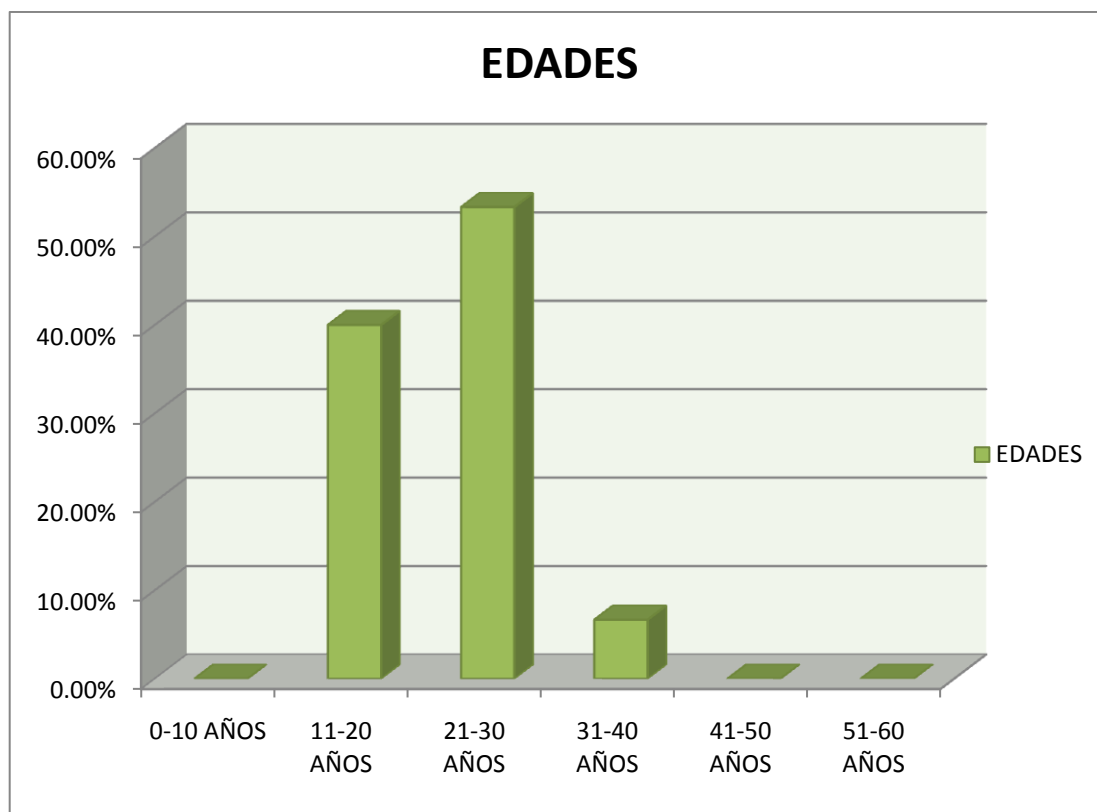


TABLA 4.4.
CUADRO DE DAÑOS DE LAS VIVIENDAS DEL P.J VILLA MARIA

CUADRO DE EXISTENCIA DE CORROSIÓN DE ACERO		
CORROSIÓN	VIVIENDAS	%
NO HAY PRESENCIA DE CORROSIÓN	5	33.33%
PRESENCIA DE ÓXIDO	3	20.00%
PRESENCIA DE CORROSIÓN	3	20.00%
PRESENCIA GRAVE DE CORROSIÓN	4	26.67%

GRAFICO 4.3.
TABLA RESUMEN DE EXISTENCIA DE CORROSION DE ACERO EN LAS VIVIENDAS

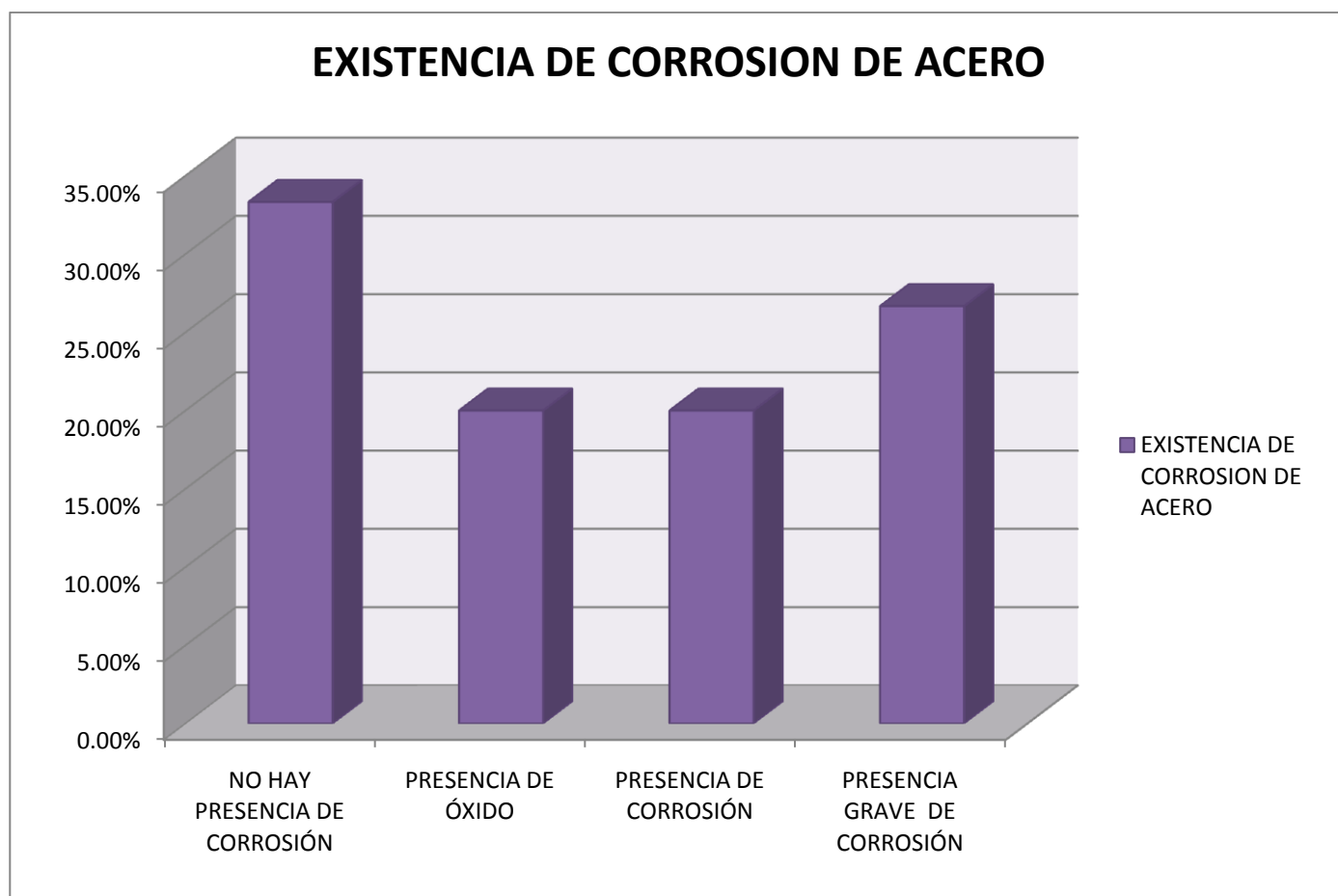


TABLA 4.5.
CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS EN LAS VIVIENDAS
DEL P.J VILLA MARIA

CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS		
ELEMENTOS	VIVIENDAS	%
COLUMNA	15	100.00%
VIGA	0	0.00%
ALIGERADO	1	6.67%
SOBRECIMIENTO	14	93.33%
ESCALERA	1	6.67%

GRAFICO 4.4.
TABLA RESUMEN DEL CUADRO ELEMENTOS DAÑADOS
EN LAS VIVIENDAS

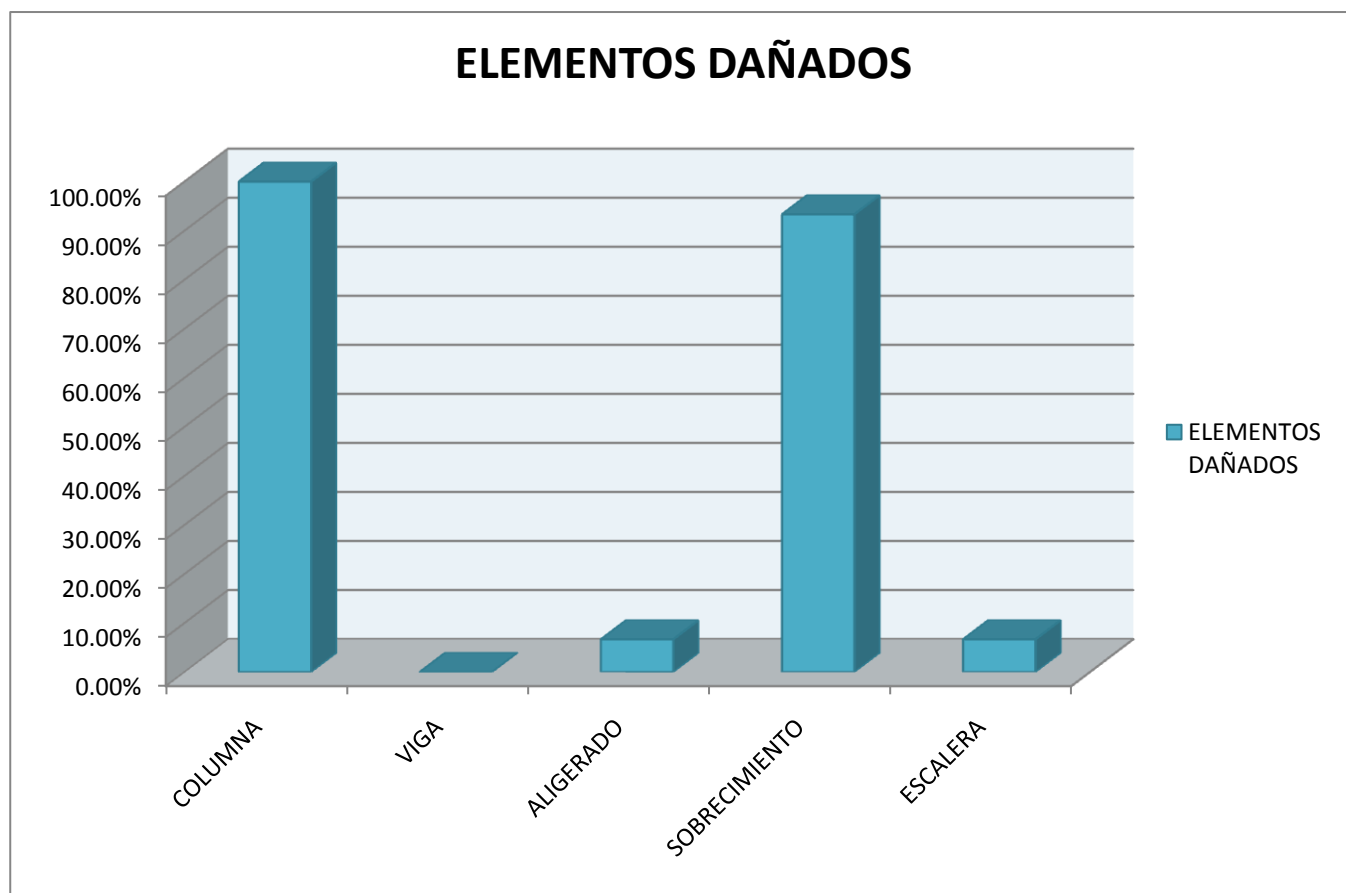


TABLA 4.6.
RESUMEN DE INSPECCION VISUAL EN LA ZONA P.J VILLA MARIA DE LA
CIUDAD DE CHIMBOTE.

RESUMEN DE INSPECCION VISUAL					
ZONA: URB. EL TRAPPECIO					
CODIGO	TIPO	UBICACIÓN	EDAD	DAÑOS	OBSERVACION
V-1	VIVIENDA	Mz. K Lt. 5 - II Etapa	35	---	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-2	VIVIENDA	Mz. J' Lt. 8	20	C	Existencia de Corrosión en el Acero .
V-3	VIVIENDA	Mz. L' Lt. 20	18	C	Presencia de Óxido en Acero de refuerzo
V-4	VIVIENDA	Mz. M' Lt. 4	40	B	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-5	VIVIENDA	Mz. W Lt. 8	10	B	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-6	VIVIENDA	Mz. A Lt. 55	18	C,F	Existencia Grave de Corrosión en el Acero .
V-7	VIVIENDA	Mz. M Lt. 4	38	---	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-8	VIVIENDA	Mz. H Lt. 15	15	B	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-9	VIVIENDA	Mz. G Lt. 18	22	A,C,F	Presencia de Óxido en Acero de refuerzo
V-10	VIVIENDA	Mz. V' Lt. 34	2	B	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-11	VIVIENDA	Mz. E' Lt. 4	18	B	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-12	VIVIENDA	Mz. D' Lt. 7	14	A,B,C,D,F	Existencia Grave de Corrosión en el Acero .
V-13	VIVIENDA	Mz. A' Lt. 12	16	B	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-14	VIVIENDA	Mz. C2 Lt. 43	20	B,D	No hay Presencia de Corrosión de Acero
V-15	VIVIENDA	Mz. S Lt. 20	30	B,D,G	No hay Presencia de Corrosión de Acero

TABLA 4.7.
CUADRO DE DAÑOS DE LAS VIVIENDAS DE LA URB. EL TRAPECIO

CUADRO DE DAÑOS			
CODIGO	DAÑO	VIVIENDAS	%
A	Grietas o Fisuras	2	13.33%
B	Eflorescencia	9	60.00%
C	Acero Oxidado	5	33.33%
D	Manchas de Humedad	3	20.00%
E	Protuberancia	0	0.00%
F	Concreto Fofo	3	20.00%
G	Cangrejerías	1	6.67%

GRAFICO 4.5.
TABLA RESUMEN DEL CUADRO DE DAÑOS DE LAS VIVIENDAS

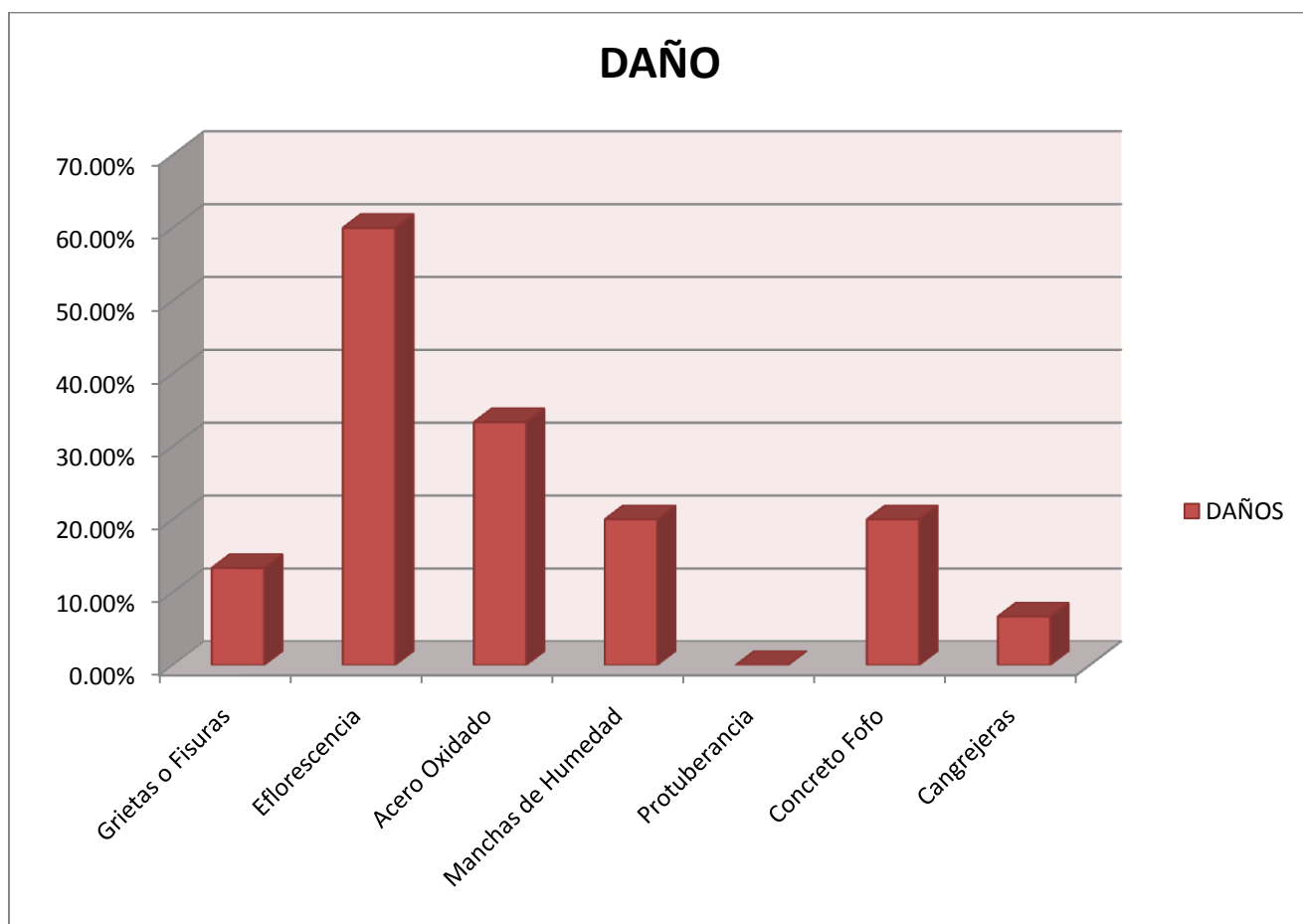


TABLA 4.8.
CUADRO DE EDADES DE LAS VIVIENDAS DE LA URB. EL TRAPECIO

CUADRO DE EDADES		
EDAD (años)	VIVIENDAS	%
0-10 AÑOS	2	13.33%
11-20 AÑOS	8	53.33%
21-30 AÑOS	2	13.33%
31-40 AÑOS	3	20.00%
41-50 AÑOS	0	0.00%
51-60 AÑOS	0	0.00%

GRAFICO 4.6.
TABLA RESUMEN DEL CUADRO DE EDADES DE LAS VIVIENDAS

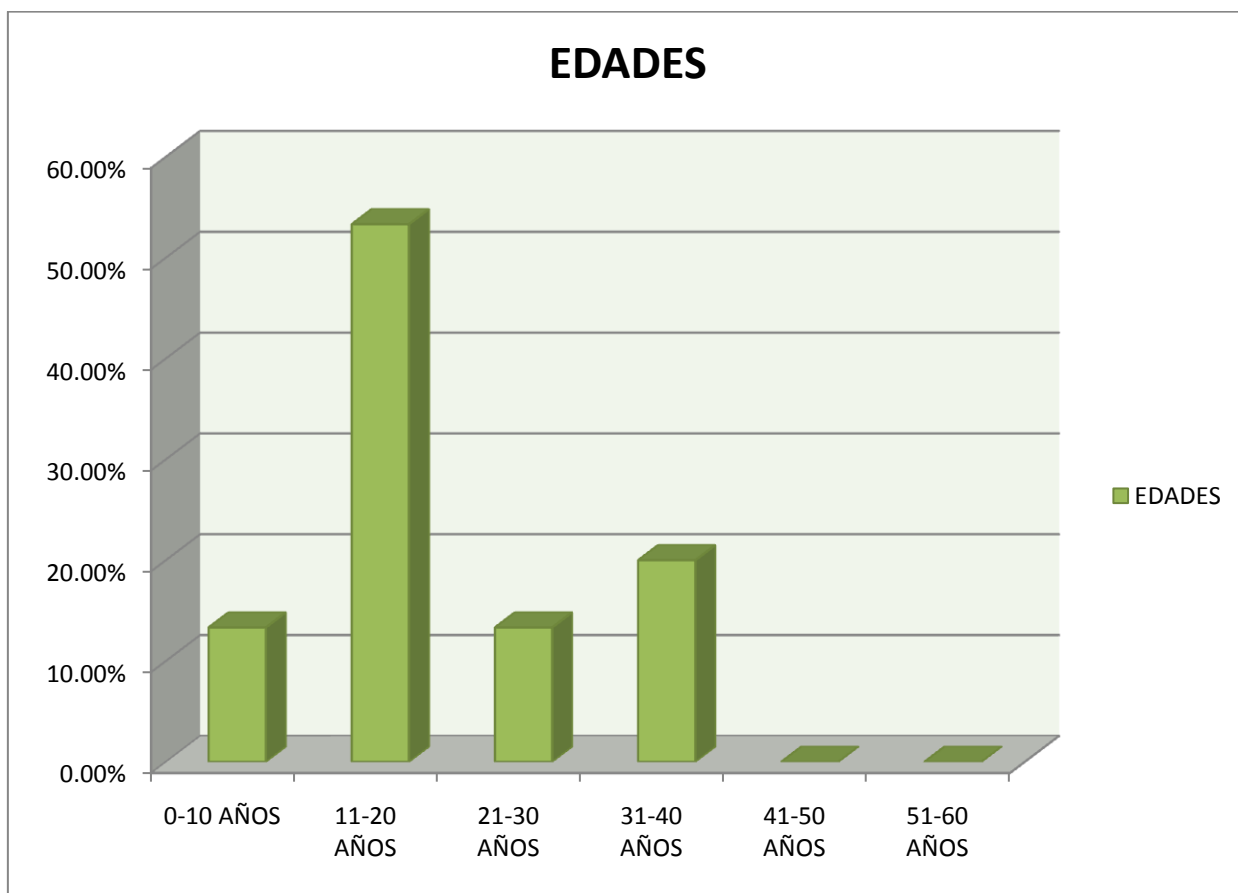


TABLA 4.9.
CUADRO DE EDADES DE LAS VIVIENDAS DE LA URB. EL TRAPECIO

CUADRO DE EXISTENCIA DE CORROSIÓN DE ACERO		
CORROSIÓN	VIVIENDAS	%
NO HAY PRESENCIA DE CORROSIÓN	10	66.67%
PRESENCIA DE ÓXIDO	2	13.33%
PRESENCIA DE CORROSIÓN	1	6.67%
PRESENCIA GRAVE DE CORROSIÓN	2	13.33%

GRAFICO 4.7.
TABLA RESUMEN DE EXISTENCIA DE CORROSION DE ACERO EN LAS VIVIENDAS

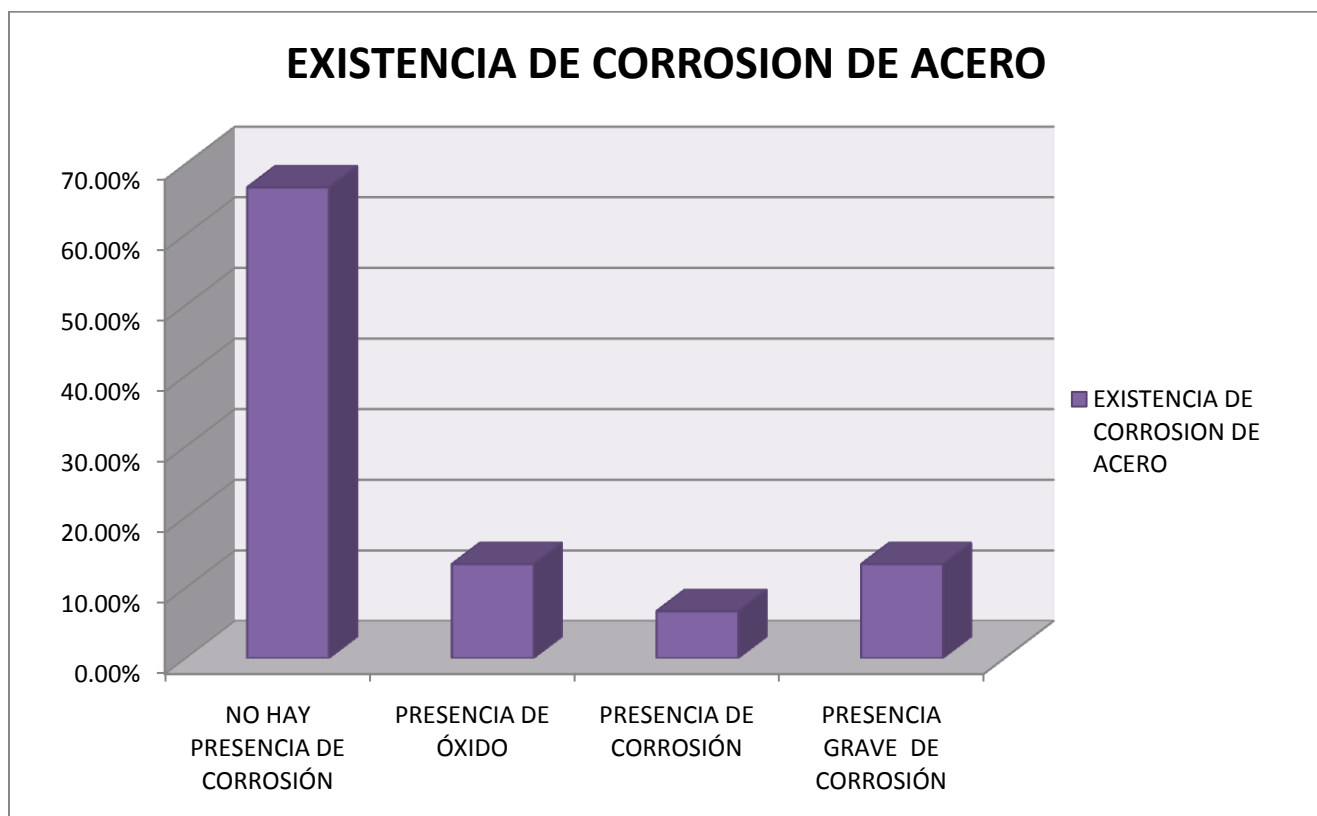


TABLA 4.10.
CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS EN LAS VIVIENDAS
DEL P.J VILLA MARIA

CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS		
ELEMENTOS	VIVIENDAS	%
COLUMNA	5	33.33%
VIGA	1	6.67%
ALIGERADO	1	6.67%
SOBRECIMIENTO	10	66.67%
ESCALERA	0	0.00%

GRAFICO 4.8.
TABLA RESUMEN DEL CUADRO ELEMENTOS DAÑADOS EN LAS VIVIENDAS

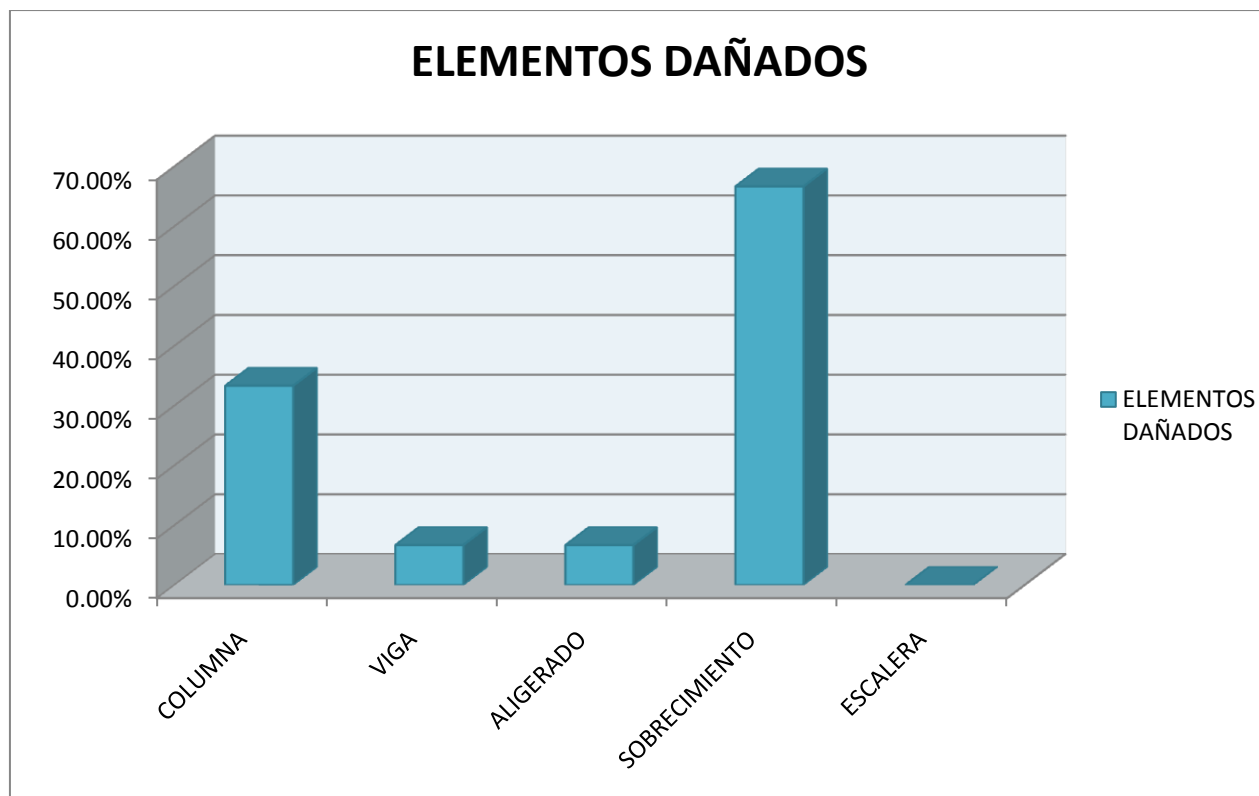


TABLA 4.11
COMPARATIVO DEL CUADRO DE DAÑOS EN LAS VIVIENDAS DE LAS 3 ZONAS

COMPARATIVO DE RESULTADOS				
CUADRO DE DAÑOS				
CODIGO	DAÑO	ZONA I P.J. 1ero DE MAYO	ZONA II P.J. VILLA MARIA	ZONA III URB. EL TRAPECIO
A	Grietas o Fisuras	26.67%	13.33%	13.33%
B	Eflorescencia	80.00%	100.00%	60.00%
C	Acero Oxidado	53.33%	60.00%	33.33%
D	Manchas de Humedad	60.00%	93.33%	20.00%
E	Protuberancia	13.33%	0.00%	0.00%
F	Concreto Fofo	26.67%	13.33%	20.00%
G	Cangrejas	33.33%	26.67%	6.67%

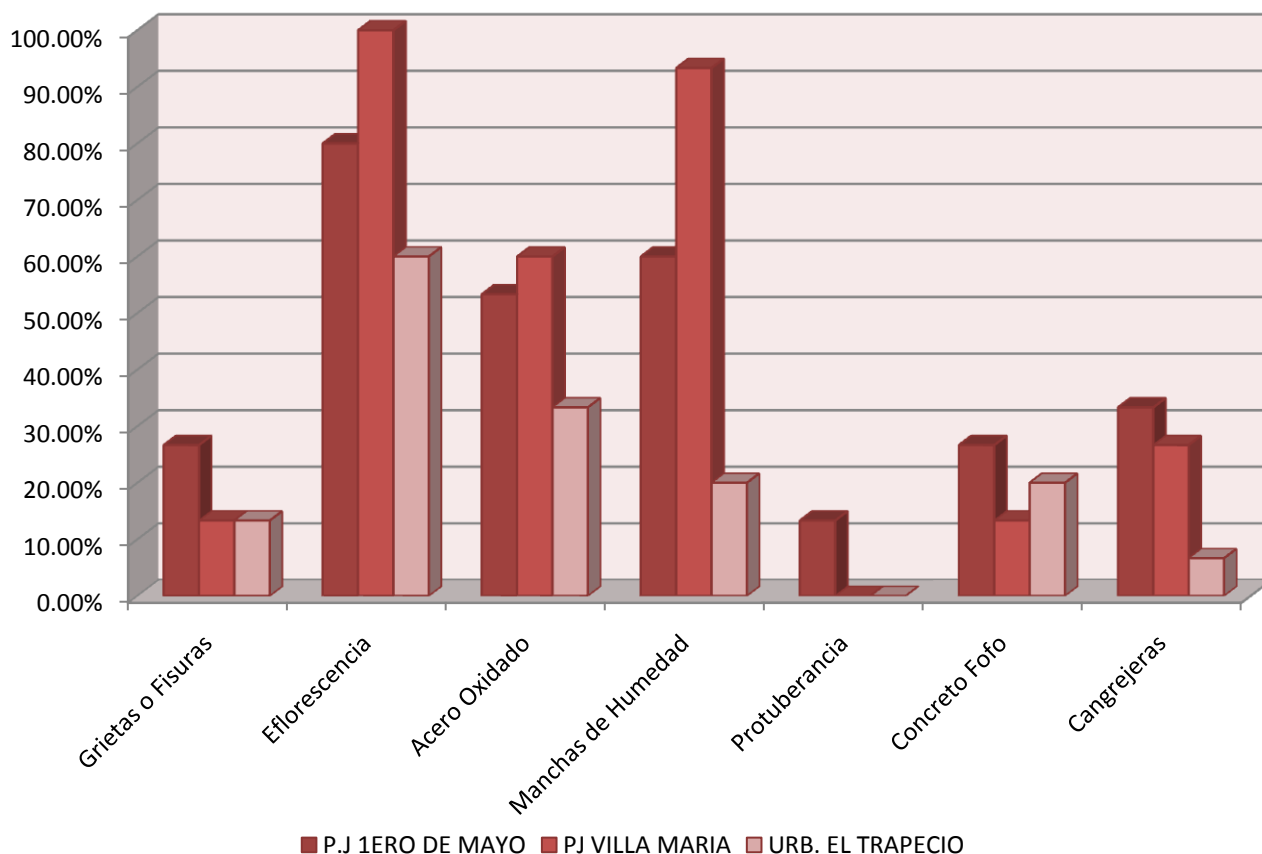


TABLA 4.12
COMPARATIVO DEL CUADRO DE EDADES DE LAS VIVIENDAS EN LAS 3 ZONAS

COMPARATIVO DE RESULTADOS			
CUADRO DE EDADES			
EDAD (años)	ZONA I P.J. 1ero DE MAYO	ZONA II P.J. VILLA MARIA	ZONA III URB. EL TRAPECIO
0-10 AÑOS	20.00%	0.00%	13.33%
11-20 AÑOS	33.33%	40.00%	53.33%
21-30 AÑOS	46.67%	53.33%	13.33%
31-40 AÑOS	0.00%	6.67%	20.00%
41-50 AÑOS	0.00%	0.00%	0.00%
51-60 AÑOS	0.00%	0.00%	0.00%

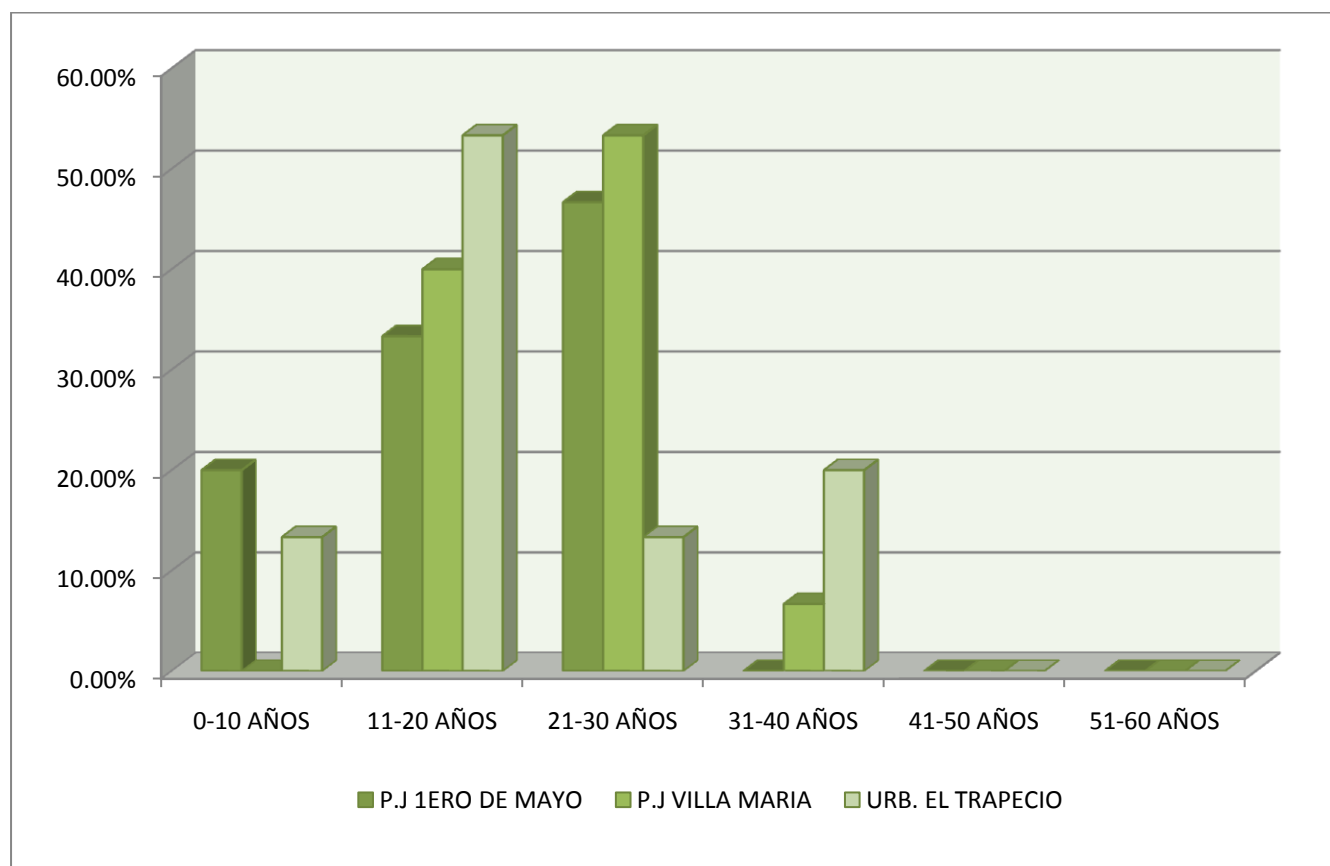


TABLA 4.13
COMPARATIVO DEL CUADRO DE EXISTENCIA DE CORROSION DEL ACERO EN LAS
VIVIENDAS EN LAS 3 ZONAS DE ESTUDIO

COMPARATIVO DE RESULTADOS			
CUADRO DE EXISTENCIA DE CORROSIÓN DE ACERO			
CORROSIÓN	ZONA I P.J. 1ero DE MAYO	ZONA II P.J. VILLA MARIA	ZONA III URB. EL TRAPECIO
NO HAY PRESENCIA DE CORROSIÓN	46.67%	33.33%	66.67%
PRESENCIA DE ÓXIDO	6.67%	20.00%	13.33%
PRESENCIA DE CORROSIÓN	13.33%	20.00%	6.67%
PRESENCIA GRAVE DE CORROSIÓN	33.33%	26.67%	13.33%

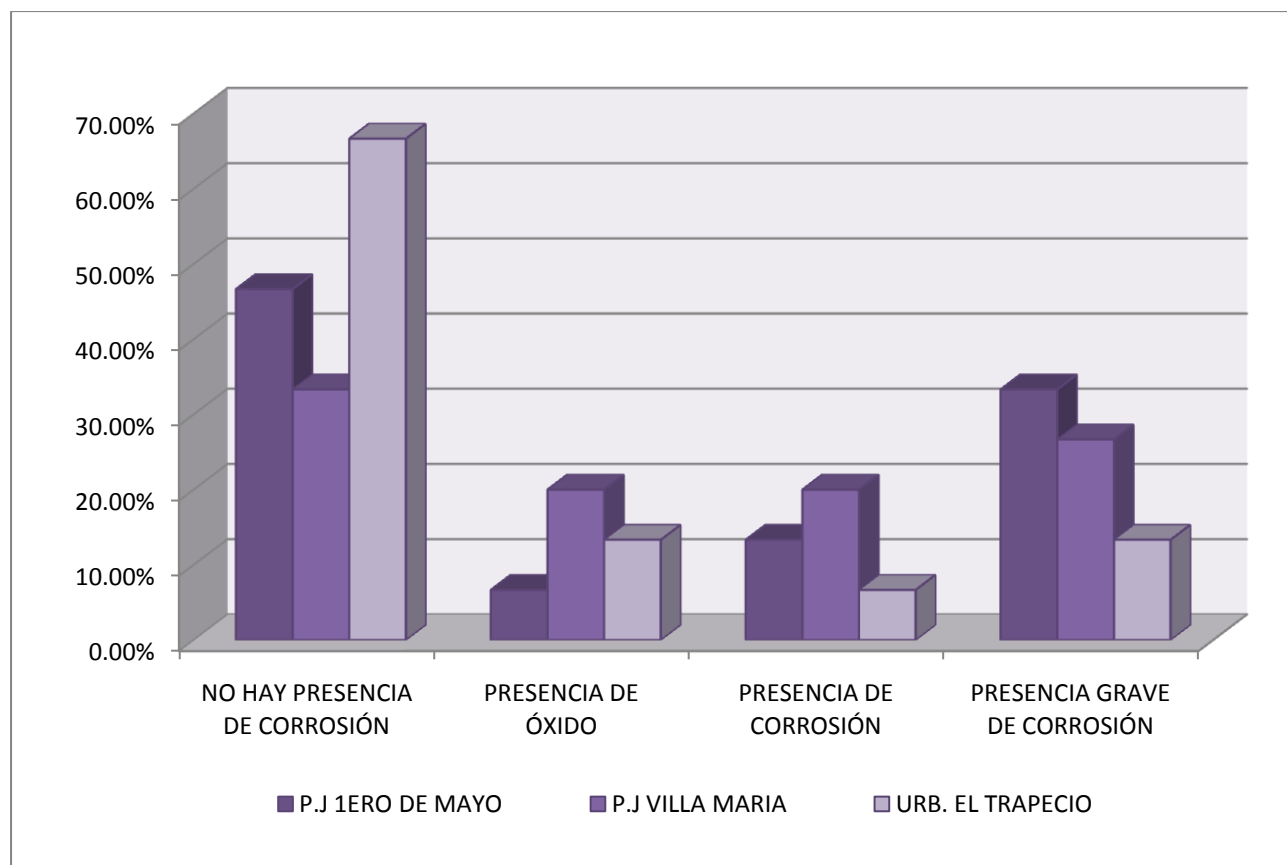
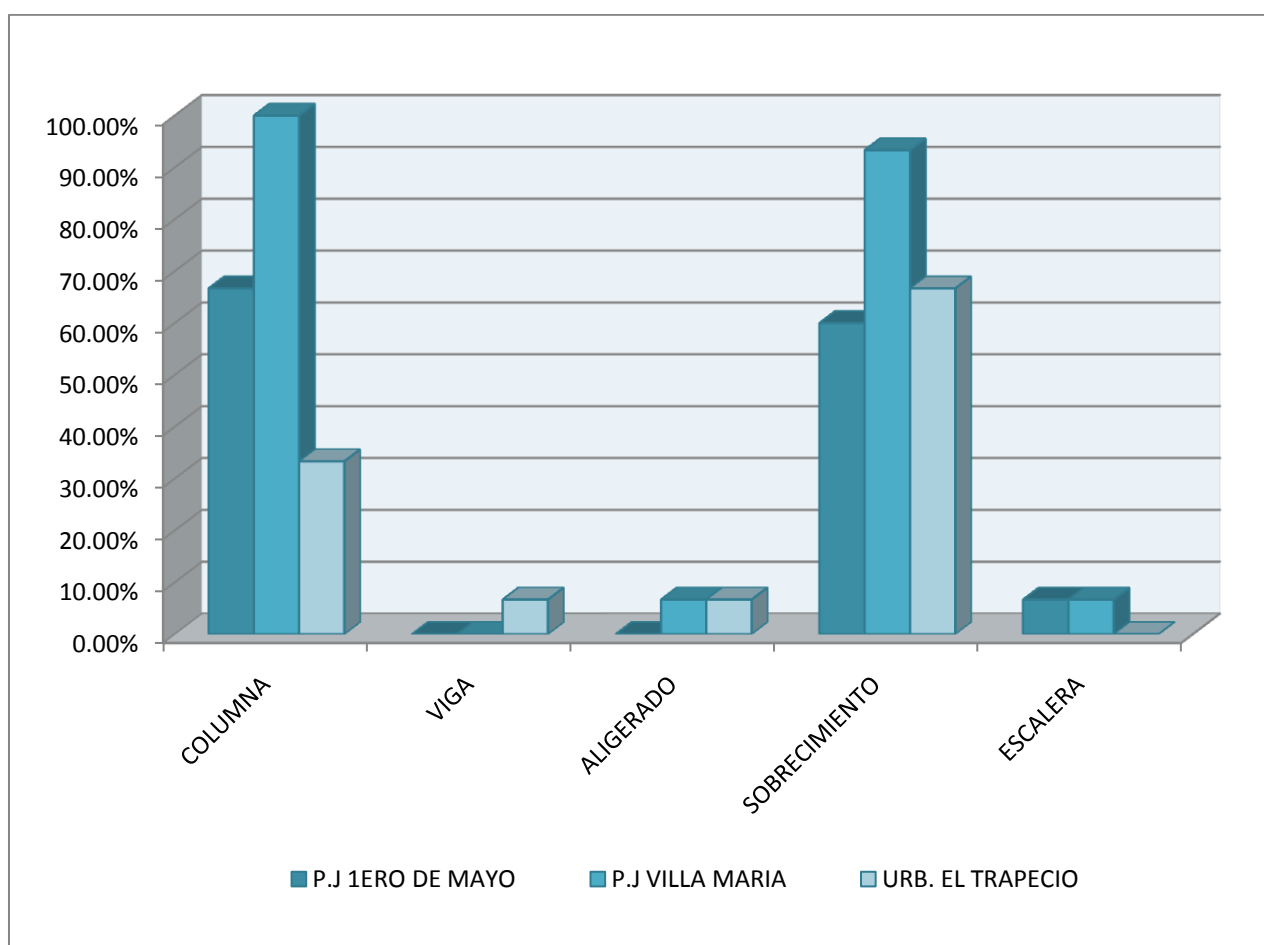


TABLA 4.14
COMPARATIVO DEL CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS DE LAS VIVIENDAS EN LAS
3 ZONAS DE ESTUDIO

COMPARATIVO DE RESULTADOS			
CUADRO DE ELEMENTOS DAÑADOS			
ELEMENTOS	ZONA I P.J. 1ero DE MAYO	ZONA II P.J. VILLA MARIA	ZONA III URB. EL TRAPECIO
COLUMNA	66.67%	100.00%	33.33%
VIGA	0.00%	0.00%	6.67%
ALIGERADO	0.00%	6.67%	6.67%
SOBRECIMIENTO	60.00%	93.33%	66.67%
ESCALERA	6.67%	6.67%	0.00%



4.3 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

En la Zona: P.J. Villa María se obtuvieron los siguientes resultados:

- En la Tabla 4.2 podemos observar que el 100% de obras de concreto armado presentan por Eflorescencia, un 93.33% presentan manchas de humedad y un 60% presenta el acero oxidado.
- En la Tabla 4.3 podemos observar que un 53.33% de obras de concreto armado oscilan entre 21 y 30 años de haber sido construidas, mientras que un 40% oscilan entre 11 y 20 años, y un 6.67% oscilan entre 31 y 40 años.
- En la Tabla 4.4 podemos observar que un 33.33% de obras de concreto armado no presentan corrosión, mientras que un 26.67% presentan graves daños de corrosión, un 20% presentan corrosión y un 20% presentan solamente oxidación de acero.
- En la Tabla 4.5 podemos observar que el 100% de obras de concreto armado presentan daños en las columnas, mientras que un 93.33% se presentan daños en los sobrecimientos, y un 6.67% en las vigas y escalera, mientras que las vigas no presentan ningún tipo de daño.

En la Zona: Urb. El Trapecio se obtuvo los siguientes resultados:

- En la Tabla 4.7 podemos observar que un 60% de obras de concreto armado presentan Eflorescencia, un 20% presentan manchas de humedad y un 33.33% presenta el acero oxidado.
- En la Tabla 4.8 podemos observar que un 20% de obras de concreto armado oscilan entre 31 y 40 años de haber sido construidas, mientras que un 13.33% oscilan entre 21 y 30 años, un 53.33% oscilan entre 11 y 20 años, y un 13.33% son menores de 10 años.

- En la Tabla 4.9 podemos observar que un 66.67% de obras de concreto armado no presentan corrosión, mientras que un 13.33% presentan graves daños de corrosión, un 6.67% presentan corrosión y un 13.33% presentan solamente oxidación de acero.
- En la Tabla 4.10 podemos observar que un 33.33% de obras de concreto armado presentan daños en las columnas, mientras que un 66.67% se presentan daños en los sobrecimientos, y un 6.67% en las vigas y aligerado, mientras que las escaleras no presentan ningún tipo de daño.

COMPARATIVO FINAL

Al realizar una comparación entre las Zonas en estudio, se obtuvieron los siguientes resultados:

- En la Tabla 4.11 podemos observar que los daños que predominan en las zonas estudiadas fueron: grietas o fisuras predominan en la Zona I en un 26.67%, Eflorescencia predomina en la Zona II en un 100%, Acero oxidado predomina en la Zona II en un 60%, manchas de humedad predomina en la Zona II en un 93.33%, Protuberancia de concreto predomina en la Zona I en un 13.33%, Concreto Fofo predomina en la Zona I en un 26.67%, y Cangrejeras predomina en la Zona I en un 33.33%.
- En la Tabla 4.12 podemos observar que las edades de construcción que predominan en las zonas estudiadas fueron: de 0 a 10 años predomina en la Zona I en un 20%, de 11 a 20 años predomina en la Zona III en un 53.33%, de 21 a 30 años predomina en la Zona II en un 53.33%, y de 31 a 40 años predomina en la Zona II en un 20%.
- En la Tabla 4.13 podemos observar que la Existencia de Corrosión en el Acero que predominan en las zonas estudiadas fueron: No hay presencia de Corrosión predomina en la Zona III en un 66.67%, Presencia de Óxido predomina en la Zona II en un 20%, Presencia de Corrosión predomina en

la Zona II en un 20%, Presencia Grave de Corrosión predomina en la Zona I en un 33.33%.

- En la Tabla 4.14 podemos observar que los Elementos Dañados que predominan en las zonas estudiadas fueron: Daños en Columna predomina en la Zona II en un 100%, Daños en Viga predomina en la Zona III en un 6.67%, Daño en el Aligerado predominan en las Zonas II y III en un 6.67%, Daño en el Sobrecimiento predomina en la Zona II en un 93.33%, y Daños en la Escalera predominan en las Zonas I y II en un 6.67%.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- 5.1.1** Los Efectos de la Corrosión sobre el Acero de Refuerzo consiste en la pérdida de la sección y disminución de su resistencia mecánica.
- 5.1.2** Los Efectos de la Corrosión sobre el Concreto consiste en manchas, grietas y desprendimientos o deslaminaciones en la superficie.
- 5.1.3** Estos efectos condicionan la durabilidad de una estructura de concreto armado.
- 5.1.4** El concreto armado es un material mixto que optimiza las propiedades del acero y del concreto, poniendo a disposición de arquitectos e ingenieros civiles un material de elevada resistencia mecánica y al fuego, de bajo costo, adaptable a varias formas geométricas.
- 5.1.5** Una estructura de concreto armado, bien diseñada y fabricada de acuerdo a los códigos de buena práctica debería tener una durabilidad ilimitada.
- 5.1.6** En las situaciones en las que la corrosión compromete la durabilidad de una estructura, el estado actual del conocimiento, permite su diagnóstico y la aplicación de métodos eficaces de prevención, corrección, reparación, rehabilitación y control.
- 5.1.7** Para las estructuras nuevas, se deberá tener mucho cuidado en los agregados y el agua que se usarán para la producción del concreto. La cantidad elevada por daño por Eflorescencia nos indica la presencia de agregados contaminados.
- 5.1.8** El P.J. Villa Maria es la zona más crítica debido a los índices altos de daños y fallas que presentan las estructuras en esta zona.

5.2 RECOMENDACIONES

Como se podrá deducir es importante tomar medidas preventivas para evitar o postergar al máximo, la corrosión; los principales métodos de protección y control de corrosión se basan en eliminar algunos de los cuatro elementos que conforman la celda de corrosión (ánodo, cátodo, conductor iónico, conductor electrónico). Debido a esto hemos creído conveniente subdividir las recomendaciones en 3 etapas: Antes del Proceso Constructivo, Durante el Proceso Constructivo y Después de la Construcción, este último abarca las recomendaciones para la reparación.

5.2.1 ANTES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO:

- 5.2.1.1 Analizar las condiciones del suelo y del agua subterránea, en caso donde se tenga nivel freático alto, a fin de determinar las concentraciones de sulfatos y sales existentes, evaluando la posible magnitud del ataque químico.
- 5.2.1.2 Se recomienda que los ensayos necesarios y los análisis químicos sean efectuados por un técnico experto. Porque la experiencia juega un rol muy importante en la interpretación de los resultados.
- 5.2.1.3 En nuestro medio la existencia de ambientes marinos está asociada a altas temperaturas del medio ambiente y son las causantes de acelerar cualquier proceso degradante o corrosivo. Como sabemos el cemento tiene elevado calor de hidratación, si a esto agregamos el calor del medio ambiente en que se vacía, se aumentará la posibilidad de formar micro fisuras por cambios de temperatura, lo que en ambiente marino constituye una vía segura de introducción de agentes agresivos. Por esto es recomendable en zonas donde la temperatura y ambiente son elevadas, vaciar el concreto en el atardecer o en la noche, usar aditivos plastificantes como la variedad de productos SIKa.
- 5.2.1.4 Se deberá tener en cuenta el control de calidad de los materiales, los agregados gruesos y finos deberán tener los requisitos necesarios

mediante el ensayo del laboratorio para su mejor resistencia de cada uno de los materiales.

- 5.2.1.5 Evitar drásticamente el uso de cloruros o la presencia de estos en los componentes del concreto. Así, como no se debe usar cloruro de calcio como aditivo acelerante. Tampoco debe usarse agua de mar para el mezclado del concreto armado, por eso es recomendable realizar un análisis químico del agua que se empleará en el concreto, verificando que cumpla con las normas respectivas.

5.2.2 DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO:

- 5.2.2.1 Se deberá tener en cuenta la protección adecuada de la cimentación, ya que de esto dependerá la durabilidad y protección contra los efectos de corrosión. Además dependerá de algunos parámetros como el nivel freático y el tipo de suelo, por eso es recomendable impermeabilizar por completo la superficie de la cimentación utilizando impermeabilizantes.
- 5.2.2.2 Recomendamos usar la Brea como material impermeabilizante por su economía y efectividad, aplicándose inicialmente en el solado antes del vaciado del concreto, para luego continuar con las superficies de la cimentación (2 manos).
- 5.2.2.3 El concreto a vaciar debe ser cuidadosamente dosificado, vaciado, compactado y curado. Con esto se conseguirá una baja porosidad y, por lo tanto, una alta permeabilidad.
- 5.2.2.4 El curado del concreto se debe llevar a cabo durante un periodo mayor que el normal, no debe ser menor de 14 días siendo lo recomendable un periodo de 28 días.
- 5.2.2.5 Una buena mezcla no asegura un buen concreto en obra, claro está que dependerá de la compactación y el estado de conservación del acero.

- 5.2.2.6 Muy importante considerar también la compactación o el vibrado del concreto para que tenga una distribución homogénea de la mezcla.
- 5.2.2.7 Se recomienda un recubrimiento mínimo sobre el acero de refuerzo de 4 a 5 centímetros de concreto.
- 5.2.2.8 Usar concretos densos de baja permeabilidad, esto significa utilizar relaciones de agua cemento bajas o lo que es lo mismo, resistencias altas. Hoy en día se recomienda que la relación agua cemento en concretos expuestos no debe ser mayor de 0.50, lo que significa resistencias características no menores de 245kg/cm^2 , en obras marinas o vecinas al mar la resistencia característica mínima debe ser de 280kg/cm^2 .
- 5.2.2.9 Si se quiere impermeabilidad superficial no se puede usar encofrado deficiente o deteriorado sin curado efectivo no hay hidratación efectiva.
- 5.2.2.10 También es recomendable el uso de inhibidores de corrosión que se agrega a la mezcla de concreto para proteger la armadura contra el ataque corrosivo, éste método podría ser la mejor solución en aquellos casos donde el concreto se prepara con agua salobre, también en aquellos trabajos que se ejecuten en construcciones en zonas de salpique en ambientes marinos.

5.2.3 DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN (Reparación de la Estructura)

En estructuras existentes dependerá en gran medida del diagnostico de la patología determinada. En general puede ser:

- 5.2.3.1 Revestimientos hidrófugos, que son materiales a base de silicona que no solo repelen la humedad y resisten el desgaste, sino que permiten al concreto respirar naturalmente. Al aplicarse sobre la superficie la penetran impregnándose en ella.
- 5.2.3.2 El uso de pinturas protectoras aplicados sobre el concreto en forma líquida formando una capa protectora (epóxicos, acrílicos y poliuretanos).

5.2.3.3 También puede aplicarse protección directa sobre el acero, tales como:

- a) Recubrimientos.- Lijado y pintado de la armadura con recubrimientos epóxicos y también galvanizados de la armadura. El recubrimiento epóxico protege por barrera, de allí que cualquier poro y daño del revestimiento es muy perjudicial para la protección del acero.
- b) Protección catódica.- Este sistema es el único que se puede considerar como de verdadero control de la corrosión, ya que permite que la armadura se comporte como cátodo. La protección por ánodos de sacrificio implica la conexión entre el refuerzo y un material más activo que el acero, el cual actuaría como el ánodo (en la práctica ánodos de aluminio o zinc).

En el caso de corriente impresa el ánodo podría ser cualquier material, ya que se utiliza una fuente de energía de corriente que entra en la estructura a proteger, haciéndola cátodo.

5.2.3.4 El problema de los daños en una edificación por corrosión debe enfrentarse, siendo necesario:

- a) Hacer una visita de inspección.
- b) Realizar un levantamiento de daños, para luego hacer un diagnóstico.
- c) Evaluar su gravedad de la edificación.
- d) Hacer la reparación y dar un tratamiento posterior para que se detenga el efecto de corrosión y en todo caso para que no ocurra la corrosión.

5.2.3.5 En general cualquier método de reparación es la eliminación del concreto dañado y su reconstitución.

5.2.3.6 Si se requiere se hará un incremento de la sección de concreto por un mejorado material de reparación, la colocación puede ser de las siguientes maneras: (a mano, usando encofrados); esto dependerá también de los materiales elegidos para la reparación como la extensión y la localización de la zona a reparar.

- 5.2.3.7 Se elegirá también si la reparación va ser extensa o limitada en las zonas que aparecen dañadas, es decir, si se realizará UN PARCHEO, por otro lado se debe tener en cuenta que, los efectos estéticos se aplicará una pintura de acabado. Debemos recalcar que la apariencia que tendrá la parte reparada comparada con la sana va ser muy difícil de igualar los colores del concreto antiguo y nuevo.
- 5.2.3.8 Las armaduras se deberán limpiar del óxido que lo recubre antes de proceder a colocar el nuevo material, además se podrá colocar un protector epóxico y habrá que asegurar la debida adherencia.
- 5.2.3.9 Es imprescindible asegurar un perfecto sellado entre armadura y material de reparación.
- 5.2.3.10 Reconstruir el concreto y sus propiedades físicas y estéticas y/o arquitectónicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Casabonne R. Carlos “Corrosión en Obras Marinas”, organizado por el A.C.I., Lima. Octubre 1993, Pág. 1,20.
2. Corzo Aliaga Agustín Víctor, Tesis “Corrosión en estructuras de Concreto Armado” – 1994.
3. Díaz Isabel – Quezada Gaby - Pasquel Enrique, “Diagnóstico y Reparación de Estructuras de Concreto Armado Atacadas por Corrosión” ACI PERU 1ra Edición 2002, Pág.1, 9.
4. Instituto de Corrosión y Protección – PUCP, Archivo de Casos Prácticos.
5. Oladis de Rincón, Aleida de Carruyo, Carmen Andrade, Paulo Helene e Isabel Díaz (Eds), Red DURAR, Sub-Programa XV, CYETD – “Manual de Inspección, Evaluación y diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado, 1997, 1ª Edición, Pág. 1,47.
6. Rivera Feijoo, Julio “Experiencias Constructivas en la Reparación de Estructuras de Concreto Armado”, organizado por el A.C.I., Lima. Octubre 1993, Pág. 1,20.
7. S. Feliz, C. Andrade (Coord.) - Consejo Superior de investigaciones Científicas Corrosión y Protección de materiales “Manual Inspección de Obras dañadas por Corrosión de Armaduras”, CSIC, Madrid 1988, Pág.6,36.

INDICE

RESÚMEN	02
INTRODUCCIÓN	03
OBJETIVOS	05
Capítulo I: ESTADO DEL ARTE	
1.1. Vida Útil	06
1.2. Vida Residual	06
1.3. Ocurrencia de Daños	07
1.4 Periodos de Tiempo de Vida Útil	09
1.4.1. Norma Mexicana	09
1.3.2. Norma ACI Colombiana	10
1.4. Principales ataques producidos en el Concreto	12
Capítulo II: LA CORROSION Y EL CONCRETO	
2.1. Corrosión de la Armadura en el Concreto	23
2.2. Corrosión de Materiales embebidos	27
2.3. Tipos de Corrosión	27
2.2.1. Corrosión Localizada	28
2.2.2. Corrosión en Espacios Confinados	30
2.2.3. Corrosión bajo tensión	31
2.2.4. Corrosión por corrientes de Interferencia	32
2.2.5. Corrosión Uniforme/Generalizada	32
2.2.6. Corrosión Galvánica	33
2.4. Factores que afectan la corrosión de las Armaduras	34

Capítulo III: DESCRIPCION Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación	51
3.2. Diseño de Investigación	51
3.3. Población y Muestra de Estudio	51
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	52
3.5. Procedimiento de Recolección de Datos	52
3.6. Procesamiento y Análisis de Datos	52

Capítulo IV: RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. Explicación de la Aplicación de las Fichas de Inspección Visual	60
4.2. Presentación de Resultados y Cuadros	60
4.2.1. Zonas de Estudio	61
4.2.2. Comparación de Zonas de Estudio	71
4.3. Interpretación de Resultados	75

Capítulo V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	78
5.2. Recomendaciones	79

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	84
-----------------------------------	-----------