



UNIVERSIDAD  
**MAYOR**

para espíritus emprendedores

---

Facultad de Ciencias  
**CONSTRUCCIÓN**  
**CIVIL**

---

ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO SOMETIDAS A CLIMA COSTERO  
CASO DE ESTUDIO CINE DIANA COMUNA DE CARTAGENA

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante

Gustavo A. Amaro Leiva

Profesor Guía

Nicolás Moreno Sepúlveda

Noviembre 2018

Santiago, Chile

## DEDICATORIA

A mis amados padres y su infinito cariño.

SOLO USO ACADÉMICO

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos quienes estuvieron a mi lado durante este proceso, brindándome apoyo en los momentos difíciles.

Al profesor Nicolás Moreno Sepúlveda, por la confianza depositada en mí, por su invaluable aporte, dedicación y motivación permanente durante todo este proceso.

A todo el equipo docente de la Universidad por su entrega y disposición, de quienes guardaré un lindo recuerdo y un profundo agradecimiento.

Al grupo de compañeros con quienes nos embarcamos en esta tarea, y que con el paso del tiempo desarrollamos una fraterna amistad.

A Ani, por la compañía y amor entregado, por ser parte de este proceso y de mi vida, todo mi cariño, amor y admiración para ti.

A Valentina, por llenar mi vida de risas y alegría.

A Carlos, Francisco, Jorge y Max, por su amistad sincera e incondicional.

Por último, a mi querida familia, a los presentes y grandes ausentes, de quienes he recibido cariño, abuelos, tías y primos, gracias infinitas por compartir mi vida con ustedes.

A todos y cada uno, gracias por todo.

## RESUMEN

### ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO SOMETIDAS A CLIMA COSTERO CASO DE ESTUDIO CINE DIANA COMUNA DE CARTAGENA

El presente trabajo de título tiene como foco, el estudio de las estructuras de hormigón armado que se encuentran sometidas a climas costeros, la influencia en su durabilidad relacionada a ésta exposición ambiental, y la descripción de las patologías que afectan a éste material constructivo.

A través del estudio bibliográfico, en primera instancia se realizó la clasificación de los componentes del hormigón, los tipos de cemento, agregados, función del acero de refuerzo y la incorporación de aditivos, abordando además aspectos relativos a las características y requisitos para garantizar la durabilidad del hormigón.

Así una vez realizado lo anterior, establecidas las clasificaciones y definiciones, desarrollar la investigación que da origen a éste trabajo de título.

En ese contexto, la investigación aborda el comportamiento de las estructuras de hormigón armado expuestas al ambiente marino, ante la penetración de cloruros en el ambiente, y cómo éste fenómeno influye en la degradación de la armadura de refuerzo y en el deterioro de las estructuras de hormigón.

Además, se realizó la descripción del proceso de carbonatación del hormigón, el mecanismo de acción, y su repercusión en el deterioro del hormigón por el desarrollo de la corrosión del acero de refuerzo.

Como resultado de la investigación, se describen técnicas de detección del proceso degenerativo, sistemas de tratado preventivo y de rehabilitación, con el fin de prolongar la vida útil de las estructuras de hormigón armado que se encuentran sometidas a esta condición climática.

Por último, se realizó el estudio y análisis de una edificación en la comuna de Cartagena, conocida como Cine Diana y que en la actualidad se encuentra en estado de abandono, siendo solo su envolvente de estructura de hormigón armado la que se mantiene en pie.

A través de inspecciones in situ, toma de muestras, y mediante el uso de fichas de control, se desarrolló un análisis que permitió identificar las patologías y lesiones a las cuales se ve afectado tanto el recubrimiento de hormigón, como la armadura de refuerzo, permitiendo la elaboración de un diagnóstico del estado de conservación, a objeto de proponer recomendaciones que permitan el saneamiento y conservación mediante sistemas de protección y tratamiento de los elementos estructurales analizados.

## SUMMARY

### ARMED CONCRETE STRUCTURES SUBMITTED TO COASTAL CLIMATE STUDY CASE DIANA COMUNA DE CARTAGENA

The present work of title has like focus, the study of the structures of armed concrete that are subjected to coastal climates, the influence in his durability related to this environmental exhibition, and the description of the pathologies that affect to this constructive material.

Through the bibliographic study, in the first instance, the classification of the components of the concrete, the types of cement, aggregates, the function of the reinforcing steel and the incorporation of additives were made, also addressing aspects related to the characteristics and requirements to guarantee the durability of concrete.

So once the above is done, established the classifications and definitions, develop the research that gives rise to this title work.

In this context, the research addresses the behavior of reinforced concrete structures exposed to the marine environment, before the penetration of chlorides into the environment, and how this phenomenon influences the degradation of the reinforcement reinforcement and the deterioration of the structures of concrete.

In addition, a description was made of the carbonation process of the concrete, the mechanism of action, and its repercussion on the deterioration of the concrete by the development of the corrosion of the reinforcing steel.

As a result of the research, degenerative process detection techniques, preventive treatment and rehabilitation systems are described, in order to prolong the useful life of reinforced concrete structures that are subject to this climatic condition.

Finally, the study and analysis of a building in the district of Cartagena, known as the Diana Cinema, was carried out and it is currently in a state of neglect, with only its reinforced concrete structure surrounding it standing.

Through on-site inspections, sampling, and through the use of control sheets, an analysis was developed to identify the pathologies and injuries to which both the concrete coating and the reinforcement reinforcement are affected, allowing the elaboration of a diagnosis of the state of conservation, in order to propose recommendations that allow sanitation and conservation through systems of protection and treatment of the structural elements analyzed.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivos .....	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivo específico .....	2
1.2. Metodología .....	2
1.3. Alcances .....	3
CAPÍTULO II: CEMENTOS, CLASIFICACIÓN GENERAL.....	4
2.1. Antecedentes históricos .....	4
2.2. Cemento .....	4
2.2.1. Aspectos generales.....	4
2.3. Clasificación según composición.....	5
2.4. Cemento común tipo Portland.....	5
2.5. Cemento con adiciones especiales .....	6
2.5.1. Cemento Portland Puzolánico.....	6
2.5.2. Cemento Portland Siderúrgico.....	7
2.5.3. Cemento Puzolánico .....	7
2.5.4. Cemento Siderúrgico .....	7
2.6. Clasificación según su resistencia.....	8
2.6.1. Grado corriente .....	8
2.6.2. Grado alta resistencia.....	8
CAPÍTULO III: COMPONENTES DEL HORMIGÓN.....	9
3.1. Hormigón .....	9

3.2. Otros componentes del hormigón .....	9
3.2.1. Agua.....	9
3.2.2. Áridos .....	10
3.2.3. Tipos de áridos.....	10
3.2.4. Condiciones generales de los áridos .....	11
3.2.5. Aditivos.....	11
3.3. Tipos de aditivos .....	12
3.4. Efecto de los aditivos y campo de aplicación .....	13
<b>CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS DE UN HORMIGÓN DURABLE .....</b>	<b>14</b>
4.1. Aspectos Generales .....	14
4.2. Durabilidad del hormigón armado en ambiente marino .....	15
4.3. Requisitos de durabilidad del hormigón .....	16
4.3.1. Tipo de cemento.....	16
4.3.2. Dosis mínima de cemento.....	17
4.3.3. Relación agua /cemento .....	17
4.3.4. Influencia de los áridos .....	18
4.3.5. Colocación del hormigón .....	18
4.3.6. Curado de hormigón .....	19
4.4. Métodos de curado del hormigón.....	19
4.5. Duración del curado del hormigón.....	20
<b>CAPÍTULO V: ACERO DE REFUERZO .....</b>	<b>22</b>
5.1. Aspectos Generales .....	22
5.2. Hormigón armado .....	22

5.3. Función del acero de refuerzo .....	22
5.4. Calidad del acero.....	23
<b>CAPÍTULO VI: CORROSIÓN DEL ACERO EN EL HORMIGÓN ARMADO .....</b>	<b>24</b>
6.1. Aspectos generales.....	24
6.2. Concepto de corrosión .....	24
6.3. Hormigón armado en ambiente marino .....	25
6.4. Corrosión del acero de refuerzo en el hormigón.....	26
6.5. Despasivación de la armadura de refuerzo .....	27
6.6. Factores que influyen en el desarrollo de la corrosión.....	28
6.7. Recubrimiento de hormigón.....	28
6.8. Grado de corrosión de las barras de acero nuevas .....	29
6.9. Tipos de corrosión.....	29
<b>CAPÍTULO VII: CORROSIÓN INDUCIDA POR CLORUROS .....</b>	<b>30</b>
7.1. Aspectos generales.....	30
7.2. Mecanismo de la corrosión por cloruros.....	30
7.3. Factores e influencia en la corrosión por cloruros .....	31
7.4. Procedencia de los cloruros.....	32
7.5. Saturación de hormigón .....	33
7.6. Período de iniciación y propagación.....	34
7.7. Penetración de cloruros en el hormigón.....	34
7.7.1. Espesor del recubrimiento.....	34
7.7.2. Permeabilidad del hormigón .....	34
7.7.3. Absorción.....	35

7.7.4. Difusión .....	36
7.8. Contenido crítico de cloruros.....	36
<b>CAPÍTULO VIII: CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN.....</b>	<b>38</b>
8.1. Aspectos generales.....	38
8.2. Mecanismo de la carbonatación.....	38
8.2.1. Contenido de humedad del hormigón .....	39
8.2.2. Porosidad del hormigón .....	39
8.2.3. Permeabilidad del hormigón .....	39
8.3. Velocidad de avance del frente de carbonatación .....	40
8.4. Acción conjunta de la penetración de cloruros y la carbonatación del hormigón.....	40
<b>CAPÍTULO IX: PATOLOGÍAS DEL HORMIGÓN ARMADO SOMETIDO A CLIMAS COSTEROS.....</b>	<b>41</b>
9.1. Definición de Patología en el ámbito de la construcción.....	41
9.2. Sintomatología en estructuras de hormigón armado en climas costeros.....	41
9.2.1. Síntoma .....	42
9.2.2. Lesión .....	42
9.3. Efectos derivados de la corrosión .....	42
9.3.1. Fisuración del hormigón .....	43
9.3.2. Tipos de fisuras.....	43
9.3.3. Ancho y profundidad de las fisuras .....	44
9.3.4. Disgregación y desprendimiento del hormigón .....	44
9.3.5. Disminución de diámetro inicial y expansión del acero de refuerzo .....	44
9.3.6. Pérdida de adherencia .....	45

9.4. Predicción de la vida útil.....	45
<b>CAPÍTULO X: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN .....</b>	<b>46</b>
10.1. Aspectos generales.....	46
10.2. Diseño y ejecución.....	46
10.3. Adiciones en la elaboración del hormigón.....	47
10.3.1. Humo de sílice .....	47
10.3.2. Ceniza volante.....	47
10.4. Protección de la armadura.....	47
10.4.1. Protección directa de la armadura.....	47
10.5. Protección catódica de la armadura .....	48
10.5.1. Ánodos de sacrificio .....	48
10.5.2. Corriente impresa.....	48
10.6. Protección indirecta de la armadura.....	49
<b>CAPÍTULO XI: DETECCIÓN DE SÍNTOMAS EN LA ESTRUCTURA .....</b>	<b>50</b>
11.1. Aspectos generales.....	50
11.2. Evaluación preliminar .....	50
11.3. Recopilación de datos .....	51
11.4. Inspección visual de la estructura .....	51
11.5. Realización de ensayos y pruebas .....	52
<b>CAPÍTULO XII: INTERVENCIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.....</b>	<b>54</b>
12.1. Aspectos generales.....	54
12.2. Evaluación de la intervención.....	54
12.3. Tratamiento de estructuras de hormigón armado dañado .....	54

12.4. Tratamiento superficial del hormigón.....	56
12.5. Tratamiento de nidos de piedra o cavidades .....	57
12.6. Recrecido de hormigón .....	58
12.7. Tratamiento de fisuras y grietas .....	59
12.7.1. Inyección de resinas.....	59
12.7.2. Inyección de lechada o morteros de cemento .....	61
12.7.3. Costura de las fisuras .....	62
12.8. Reemplazo del hormigón deteriorado .....	63
12.9. Refuerzos y reemplazo de armadura deteriorada .....	65
<b>CAPÍTULO XIII: CASO DE ESTUDIO, CINE DIANA COMUNA DE CARTAGENA .....</b>	<b>68</b>
13.1. Breve reseña histórica .....	68
13.2. Ubicación y entorno .....	69
13.3. Situación actual del edificio.....	70
<b>CAPÍTULO XIV: TRABAJO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>71</b>
14.1. Aspectos generales.....	71
14.2. Etapas del proceso de evaluación.....	71
<b>CAPÍTULO XV: RESULTADOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>72</b>
15.1. Aspectos generales.....	72
15.2. Elaboración del hormigón utilizado .....	72
15.3. Estado de conservación de la estructura .....	72
15.4. Acero de refuerzo.....	75
15.4.1. Corrosión del acero de refuerzo.....	76
15.5. Ensayo de carbonatación.....	78

15.5.1. Procedimiento en perforaciones existentes .....	78
15.5.2. Conclusiones del procedimiento .....	80
15.5.3. Procedimiento en perforaciones nuevas.....	80
15.5.4. Conclusiones del procedimiento .....	81
15.6. Predicción del avance de carbonatación en armadura protegida.....	82
<b>CAPÍTULO XVI: SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DEL EDIFICIO ANALIZADO .....</b>	<b>84</b>
16.1. Aspectos generales .....	84
16.2. Demoliciones y desarmes .....	84
16.3. Tratamiento de muros .....	85
16.3.1. Muros exteriores .....	85
16.3.2. Muros interiores.....	85
16.4. Tratamiento de pilares.....	86
16.5. Tratamiento en losas .....	86
16.5.1. Losa en primer nivel .....	86
16.5.2. Losa en segundo nivel.....	87
<b>CAPÍTULO XVII: CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>
17.1. Conclusiones de la investigación .....	88
17.2. Conclusiones del caso de estudio.....	90
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO 1: LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO DEL EDIFICIO.....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO 2: PROCESO DE EVALUACIÓN .....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO 2.1. RECONOCIMIENTO INICIAL.....</b>	<b>96</b>

ANEXO 2.1.1. PERFORACIONES EXISTENTES .....	103
ANEXO 2.2. PERFORACIÓN DE ELEMENTOS .....	107
ANEXO 2.3. ENSAYO CARBONATACIÓN .....	110
ANEXO 2.3.1. ENSAYO EN PERFORACIONES EXISTENTES .....	112
Procedimiento de ensayo en pilar interior, EJE D - 2 .....	112
Procedimiento de ensayo en muro interior, EJE D - 4 .....	113
Procedimiento de ensayo en muro interior, EJE E - 3 .....	114
Procedimiento de ensayo en muro exterior, EJE I - 5 .....	115
ANEXO 2.3.2. ENSAYO EN PERFORACIONES REALIZADAS .....	116
Procedimiento de ensayo en muro interior, EJE C - 3 .....	116
Procedimiento de ensayo en pilar interior, EJE D - 3 .....	117
ANEXO 3: FICHAS DE CONTROL DE INSPECCIÓN .....	118

SOLO USO ACADÉMICO

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.- Clasificación de los cementos según su composición.....	5
Tabla N° 2.- Clasificación según características de resistencia .....	8
Tabla N° 3.- Límites que debe cumplir el agua de amasado.....	10
Tabla N° 4.- Requisitos del hormigón según grado de exposición. ....	15
Tabla N° 5.- Grados de exposición que provocan corrosión .....	16
Tabla N° 6.- Calidad del acero.....	23
Tabla N° 7.- Factores que intervienen en la corrosión por cloruros. ....	31

SOLO USO ACADÉMICO

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.- Relación agua cemento .....	17
Figura N° 2.- Viga cargada con y sin armadura.....	22
Figura N° 3.- Representación electroquímica de la corrosión .....	24
Figura N° 4.- Capa pasiva del acero. ....	27
Figura N° 5.- Tipos de corrosión en el hormigón armado. ....	29
Figura N° 6.- Representación esquemática de corrosión por cloruros.....	31
Figura N° 7.- Avance de la carbonatación y alteración del pH.....	40
Figura N° 8.- Representación de daños por corrosión en el hormigón .....	42
Figura N° 9.- Modelo de vida útil de Tuutti. ....	45
Figura N° 10.- Reparación superficial en muros.....	56
Figura N° 11.- Reparación de nidos en el hormigón.....	57
Figura N° 12.- Recrecido de hormigón.....	58
Figura N° 13.- Sellado de fisuras mediante inyección por presión.....	60
Figura N° 14.- Inyección de lechada.....	62
Figura N° 15.- Reparación con grapas.....	63
Figura N° 16.- Plano de planta primer nivel de la estructura.....	94
Figura N° 17.- Ubicación de los elementos inspeccionados .....	95

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 1.- Ubicación y contexto general .....	69
Imagen N° 2.- Vista desde Calle Vicente Huidobro .....	96
Imagen N° 3.- Fachada .....	96
Imagen N° 4.- Vista interior.....	97
Imagen N° 5.- Viga exterior.....	97
Imagen N° 6.- Viga exterior en acceso .....	98
Imagen N° 7.- Losa interior sobre escala.....	98
Imagen N° 8.- Losa interior .....	99
Imagen N° 9.- Losa interior .....	99
Imagen N° 10.- Viga interior .....	100
Imagen N° 11.- Muro y elementos ornamentales. ....	100
Imagen N° 12.- Losa interior colapsada.....	101
Imagen N° 13.- Losa segundo piso palco. ....	101
Imagen N° 14.- Revestimientos interiores. ....	102
Imagen N° 15.- Estuco en palco. ....	102
Imagen N° 16.- Pilar en acceso.....	103
Imagen N° 17.- Pilar en acceso.....	103
Imagen N° 18.- Perforación en muro interior .....	104
Imagen N° 19.- Perforación en muro interior .....	104
Imagen N° 20.- Perforación en muro interior. ....	105
Imagen N° 21.- Perforación en muro interior. ....	105
Imagen N° 22.- Perforación en muro interior .....	106

Imagen N° 23.- Perforación en muro interior .....	106
Imagen N° 24.- Rotomartillo .....	107
Imagen N° 25.- Muro en acceso .....	108
Imagen N° 26.- Muro en acceso .....	108
Imagen N° 27.- Pilar en acceso.....	109
Imagen N° 28.- Pilar en acceso.....	109
Imagen N° 29.- Fenolftaleína y medidas de seguridad .....	110

SOLO USO ACADÉMICO

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Durante los últimos cincuenta años, el uso del hormigón armado tanto en obras públicas como en edificación, ha cobrado protagonismo debido a sus características de durabilidad y rentabilidad, demostrando además, su excelente comportamiento frente a distintas sollicitaciones, incluso superiores a las consideradas en el cálculo original, proporcionando prestaciones que garantizan elevados estándares en cuanto a resistencias mecánicas, como también en aspectos asociados al diseño.

En ese contexto, la preocupación de los encargados de diseño es centrarse en la durabilidad de las estructuras, motor para el desarrollo de investigaciones que están orientadas a la generación de nuevos productos, sistemas y tecnologías de aplicación, buscando con esto, desligar el factor humano con el propósito de mejorar las técnicas tradicionalmente empleadas, mejorando la calidad de los procesos y resultados finales de las estructuras de hormigón que se entregan a servicio.

Lo expuesto anteriormente se demuestra con la introducción, por ejemplo, del hormigón autocompactante, el desarrollo de equipos, como las estucadoras, sistemas de proyección, alisadores mecánicos para la terminación de pisos, equipos pavimentadores, sistemas de moldaje deslizante, el desarrollo de aditivos para el hormigón, entre otros, lo que junto con el desarrollo de exigencias técnicas, tienen por objetivo obtener estructuras con un alto estándar de seguridad y durabilidad.

Sin embargo, en sus comienzos, el uso del hormigón armado carecía de estándares normativos asociados al cálculo de las estructuras, y sumado a que el desarrollo de tecnologías y la incorporación de nuevos productos, es un campo relativamente nuevo, muchas de las estructuras con más de cincuenta años carecen de normativa técnica respecto a su ejecución.

El caso de las estructuras de hormigón armado en ambiente marino, la exposición permanente provoca pérdida de servicio de manera más rápida que otras expuestas a condiciones climáticas distintas, ya que las sales provenientes del mar impregnan el hormigón generando en los refuerzos de acero el desarrollo del proceso de corrosión.

El impacto de la corrosión, no solo genera pérdidas económicas, sino que al deteriorarse las estructuras, pierden su capacidad para cumplir el propósito para las cuales fueron diseñadas, pudiendo sufrir daños importantes, transformándose en un riesgo para la seguridad de sus ocupantes.

Es por eso que el estudio y monitoreo de las estructuras de hormigón armado expuestas a climas costeros cobra relevancia. Con ello se busca detectar de manera anticipada posibles daños y procesos de deterioro, que puedan afectar el servicio de la estructura, considerando que somos un país que enfrenta una larga franja costera, con construcciones que se han visto sometidas a esta condición de exposición durante años.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Desarrollar una investigación de los factores que inciden en el deterioro de las estructuras de hormigón armado sometidas a climas costeros por la influencia de la penetración de cloruros y su acción sobre la armadura de refuerzo, elaborar una descripción de las patologías generadas por este proceso, para así proponer recomendaciones durante la etapa de diseño, requisitos de calidad del hormigón, colocación, curado, técnicas de detección de síntomas, y gestiones de reparación.

Además, se abordarán aspectos relacionados con el proceso de carbonatación del hormigón, su mecanismo de acción y las patologías asociadas a este fenómeno por la penetración de CO<sub>2</sub> al interior del hormigón por el proceso de corrosión del acero de refuerzo.

### **1.1.2. Objetivo específico**

Análisis y estudio de una construcción en la comuna de Cartagena, conocida como Cine Diana, proceso realizado mediante visitas de inspección con objeto de identificar las patologías que le afectan y el nivel de daño al cual se encuentra expuesta la edificación, provocado por el proceso degenerativo a causa de la exposición a la condición climática y su condición de abandono.

Realizada la inspección y la clasificación de los daños mediante el uso de fichas de control para el registro de los elementos estructurales analizados, proponer desde el punto de vista técnico, las gestiones de tratamiento que se deben abordar que permitan la conservación de la estructura en su estado actual, hasta que sea posible generar una intervención integral que la restaure a su condición original.

## **1.2. Metodología**

La realización de este trabajo de investigación, está basado en el siguiente proceso metodológico.

- 1.- Estudio bibliográfico para conocer el estado actual de la materia.
- 2.- Aspectos generales, descripción y definiciones.
- 3.- Descripción de los factores que influyen en el deterioro de las estructuras.
- 4.- Descripción de las patologías que afectan a estas estructuras.
- 5.- Inspección in situ del caso de estudio.
- 6.- Análisis de los resultados recogidos durante la inspección.
- 7.- Métodos de tratamiento y conservación de la estructura analizada.
- 8.- Conclusiones generales de la investigación.

### **1.3. Alcances**

La información recopilada, los ensayos realizados, y las propuestas de tratamiento, reparación, rehabilitación y saneamiento de la estructura, pretenden ser un aporte técnico para el desarrollo de una posible intervención que permita poner nuevamente en servicio el edificio.

Es por esto que el énfasis estará en proponer técnicas de intervención para la conservación de la envolvente de hormigón, con el propósito de reducir el avance del proceso de deterioro al cual se encuentra expuesto.

SOLO USO ACADÉMICO

## **CAPÍTULO II: CEMENTOS, CLASIFICACIÓN GENERAL**

### **2.1. Antecedentes históricos**

Investigaciones y hallazgos sobre su uso, datan de los años 5600 a.C, cuando en la antigua Yugoslavia se encontraron restos de los primeros pisos de concreto confeccionado a partir de calizas calcinadas.

Utilizado por los egipcios en forma de yeso impuro calcinado como ligante de los grandes bloques de piedra utilizados en la construcción de las pirámides de Giza.

Los constructores griegos y romanos dieron un salto importante al desarrollar mezclas de cenizas volcánicas con caliza, arena y agua, identificándose esta mezcla como el primer hormigón de la historia.

La civilización romana empleó el hormigón para la construcción de grandes edificaciones, el Coliseo de Roma y el Panteón, son un ejemplo de ello. Pero su legado e innovación ingenieril más importante, es el desarrollo de redes de agua potable y evacuaciones de aguas residuales.

Hoy en día el desarrollo del hormigón permite múltiples aplicaciones, y dado sus excelentes propiedades, durabilidad y resistencia, lo convierten en el principal material utilizado en el diseño de todo tipo de proyectos.

### **2.2. Cemento**

#### **2.2.1. Aspectos generales**

“El prototipo de cemento moderno lo obtuvo en 1845 Isaac Johnson, quien quemó una mezcla de arcilla y caliza hasta formar clínker, con lo cual se produjo la reacción necesaria para la formación de un compuesto cementante” (Tecnología del concreto, Neville Adam, 1995)

La Norma NCh 148.Of 68, (cemento-terminología, clasificación y especificaciones generales), define al cemento como “un material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua, forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire”.

Su presentación en forma de polvo fino color gris, se obtiene a través del proceso de molienda de clínker, yeso y/o adiciones de carácter específico, según el tipo de cemento requerido.

### 2.3. Clasificación según composición.

Los cementos se pueden clasificar como lo señala la Norma NCh 148, según su composición, como se muestra en Tabla N° 1.

Denominación	Proporción de los componentes			Resistencia
	Clinker	Puzolana	Escoria	
Portland	100%	-	-	Corriente
Portland Puzolánico	$\geq 70\%$	$\leq 30\%$	-	Alta resistencia
Portland Siderúrgico	$\geq 70\%$	-	$\leq 30\%$	
Puzolánico	50 – 70 %	30 – 50 %	-	Corriente
Siderúrgico	25 – 70%	-	30 – 75 %	-

Tabla N° 1.- Clasificación de los cementos según su composición

### 2.4. Cemento común tipo Portland

En general, tal designación corresponde siempre al cemento artificial común de fraguado lento, es un aglomerante eminentemente hidráulico y su composición y propiedades varían ligeramente, según su procedencia.

Para obtener este tipo de cemento, las materias primas extraídas de canteras, se clasifican y trituran para posteriormente mediante horno rotatorio, y a elevadas temperaturas, los gases en el interior reaccionen químicamente obteniendo un producto denominado clínquer.

El clínquer, compuesto por materiales de origen calcáreo, como calizas y arcillas, es sometido a un proceso de molienda hasta convertirlo en un polvo finísimo, al que se le agrega durante este proceso adiciones en proporción alrededor de un 5% de su peso, obteniendo así el cemento Portland.

La composición química del cemento tipo Portland, se constituye principalmente por los siguientes compuestos:

- Silicato tricálcico ( $3 \text{ Ca O} \cdot \text{Si O}_2$ ), abreviatura clásica  $\text{C}_3\text{S}$ .
- Silicato bicálcico ( $2 \text{ CaO} \cdot \text{Si}_2$ ), abreviatura  $\text{C}_2\text{S}$ .
- Aluminio tricálcico ( $3 \text{ Ca} \cdot \text{Al}_2\text{O}_2$ ), abreviatura  $\text{C}_3\text{A}$ .
- Ferroluminato tetracálcico ( $4 \text{ CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_2 \times \text{Fe}_2\text{O}_2$ ), abreviatura  $\text{C}_4\text{AF}$ .

Los silicatos que generalmente están presentes en el clínquer en cantidades superiores al 70%, aportan resistencia mecánica al cemento al hidratarse, siendo el Silicato tricálcico el que aporta mayor resistencia a temprana edad.

Los componentes restantes, no son relevantes en el aporte de resistencia en el proceso de hidratación del cemento.

**Clinquer:** Se constituye principalmente por silicatos de calcio y se obtiene por el calentamiento hasta una temperatura no inferior a la temperatura de fusión incipiente de una mezcla homogénea finamente molida en proporciones adecuadas, formada principalmente por óxidos de calcio ( $\text{CaO}$ ) y silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y por óxidos de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) en proporciones menores.

**Puzolana:** Son materiales naturales o artificiales, que contienen sílice y/o alúmina, no son cementos en sí, pero al ser molidos finamente y al mezclarse con hidróxido de calcio, (portlandita) se producirá un proceso de fraguado, para posteriormente endurecer.

Las puzolanas pueden reemplazar desde un 15% a un 30% del cemento Portland como adición, ganando además impermeabilidad y resistencia al ataque químico, especialmente de sulfatos.

## **2.5. Cemento con adiciones especiales**

Durante el proceso de fabricación, se pueden adicionar otros productos, constituyendo con esto los cementos Portland con adiciones o cementos especiales.

A partir de modificaciones en la composición, junto con conservar las características propias del cemento Portland puro, estas adiciones le confieren cualidades relacionadas principalmente con la durabilidad, permeabilidad y resistencia a agentes externos.

### **2.5.1. Cemento Portland Puzolánico**

Este tipo de cemento se compone por la mezcla íntima y uniforme de cemento Portland y puzolana. Según se indica en la norma chilena NCh 148, en su composición el contenido de puzolana no debe ser mayor a un 30% del producto terminado.

Dada su composición, este cemento posee las siguientes características:

- Mejora la docilidad del hormigón.
- Alto desempeño en intemperie.
- Buena impermeabilidad y resistencia en mezclas pobres.

### **2.5.2. Cemento Portland Siderúrgico**

Este tipo de cemento se compone de la mezcla íntima de clínker de cemento Portland y por escoria de alto horno, en una proporción que no supera el 30% del producto terminado, según se indica en la norma chilena NCh 148.

Dada su composición, este cemento posee las siguientes características:

- Alta resistencia química frente a ataque de sulfatos y agua de mar.
- Desarrollo de mayor impermeabilidad.
- Lenta penetración de iones cloro.

### **2.5.3. Cemento Puzolánico**

Al igual que el cemento Portland puzolánico, está compuesto por clínker, puzolana y yeso, diferenciándose en el contenido de puzolana que posee, el que varía entre el 30% y 50%, en peso del producto terminado.

Dada su composición, este cemento posee las siguientes características:

- Desarrollo de hormigones más densos, durables y de baja permeabilidad.
- Mayor resistencia a sulfatos y ambientes agresivos.
- Mayor tiempo de operación.
- Mayor estabilidad en su volumen, reduciendo asentamientos y contracciones.

### **2.5.4. Cemento Siderúrgico**

Este tipo de cemento contiene clínker y escoria de alto horno, en una proporción que varía entre el 30% y el 75% del producto terminado.

Dada su composición, este cemento posee las siguientes características:

- Alta resistencia a agentes químicos y agua de mar.
- Altas resistencias finales.
- Mayor tiempo de operación.
- Buena protección de la armadura de refuerzo.

## 2.6. Clasificación según su resistencia

A su vez los cementos se pueden clasificar de acuerdo a su resistencia en dos grupos según lo señalado en la Norma NCh 148, como se indica en Tabla N° 2.

Grado	Tiempo de Fraguado		Resistencias mínimas			
	Inicial (min)	Final (máx)	Compresión		Flexión	
			7días Kgf/cm <sup>2</sup>	7días Kgf/cm <sup>2</sup>	7días Kgf/cm <sup>2</sup>	7días Kgf/cm <sup>2</sup>
Corriente	60 min	12 hrs	180	250	35	45
Alta Resist.	45 min	10 hrs	250	350	45	55

Tabla N° 2.- Clasificación según características de resistencia

### 2.6.1. Grado corriente

Generalmente corresponden a los cementos diseñados con altos contenidos de adiciones (superiores a 30%), ya sean puzolanas o escoria de alto horno, con una velocidad de desarrollo de resistencias mecánicas iniciales más bajas.

### 2.6.2. Grado alta resistencia

Este grado de cemento corresponde a aquellos que se formulan con un mayor contenido de clínquer (superior al 70%) y que presentan una velocidad de desarrollo de resistencia mayor a temprana edad.

## **CAPÍTULO III: COMPONENTES DEL HORMIGÓN**

### **3.1. Hormigón**

El hormigón es un material que se obtiene de la mezcla de cemento, agua y áridos, y en casos particulares se emplean aditivos para modificar ciertas características y propiedades especiales, y que al fraguar y endurecer adquiere resistencia. Es el material de construcción más usado por sus innumerables ventajas, por ejemplo:

- Dado su carácter plástico, puede adoptar variadas formas.
- Posee elevada resistencia mecánica.
- Proporciona piezas monolíticas, prescindiendo de juntas o uniones.
- Está compuesto de materiales baratos y abundantes.

Sin embargo, puede presentar inconvenientes, como.

- Posee baja resistencia a la tracción.
- Es un material con relación peso/resistencia elevada, en comparación al acero.
- Es sensible a algunos agentes agresivos, tanto físico como químicos.

Nota: El cemento, sus tipos y características fueron descritos en el capítulo anterior.

### **3.2. Otros componentes del hormigón**

#### **3.2.1. Agua**

El agua agregada al hormigón, cumple dos funciones.

- Actúa en el proceso químico de hidratación del cemento.
- Brinda la trabajabilidad necesaria el hormigón, fundamental para definir su fluidez.

Por lo tanto, es un componente esencial en la elaboración del hormigón condicionando el desarrollo de las propiedades en estado fresco, como también durante su etapa de endurecimiento.

Las condiciones para su incorporación respecto a las características de calidad, están definidas según se indica en la Norma NCh1498, y pueden ser resumidas de la siguiente manera.

- El uso de agua potable de la red puede ser utilizada, siempre que esta no se contamine antes de su uso.
- El uso de agua de mar se permite solamente en hormigones simples, y solo en el caso que no exista otra fuente disponible, no es recomendable.
- El uso de aguas que contengan azúcares como, sacarosa, glucosa o similares no está permitido.
- El uso de aguas cuya calidad u origen se desconozca, pueden ser utilizadas previo análisis y cumplir además, con los requisitos químicos según los límites que se indican en Tabla N° 3.

Propiedad	Límites
pH	6,0 – 9,2
Sólidos en suspensión	$\leq 2.000 \text{ mg/l}$
Sólidos disueltos	$\leq 15.000 \text{ mg/l}$
Cloruros	$\leq 1.200 \text{ g Cl/m}^3 \text{ hormigón armado}$
	$\leq 250 \text{ g Cl/m}^3$
Sulfatos	$\leq 600 \text{ g SO}_4/\text{m}^3$
Materias Orgánicas	$\leq 5 \text{ mg/l}$

**Tabla N° 3.- Límites que debe cumplir el agua de amasado.**

Las condiciones señaladas en la Tabla N°3, apuntan a disminuir la presencia de componentes que puedan resultar dañinos al hormigón y están relacionados con algunos de estos aspectos.

- Alterar los procesos de fraguado y endurecimiento del hormigón.
- Generar compuestos expansivos que dañen físicamente el hormigón.
- Producir o acelerar el proceso corrosivo en la armadura.

### 3.2.2. Áridos

Se pueden definir como un conjunto de granos de origen mineral en distintos tamaños y formas. Su uso principal es la elaboración de morteros, hormigones, capas de fundación, bases para carreteras, entre otros.

### 3.2.3. Tipos de áridos

Según su origen, se pueden clasificar en tres tipos:

**a) Árido natural:** Es extraído desde un yacimiento y para su elaboración es sometido a procesos mecánicos, se distinguen según su forma en, rodados y chancados. Las rocas de las cuales se extrae el árido natural, son rocas calcáreas, sedimentarias, arenas y gravas.

**b) Árido artificial:** Elaborado mediante procesos industriales, sometido a modificaciones físico-químicas, o de otro tipo, como por ejemplo, la arcilla.

**c) Árido reciclado:** Proveniente del proceso de reciclaje de residuos, de actividades asociadas a trabajos de demoliciones o escombros.

#### **3.2.4. Condiciones generales de los áridos**

##### **a) Condición de docilidad:**

Esta condición puede ser descrita como el conjunto de características necesarias, que al ser incorporados al hormigón, le otorguen a este la docilidad adecuada para su uso en estado fresco, y pueden subdividirse de la siguiente manera.

- Según granulometría.
- Según contenido de finos.
- Según forma.
- Según porosidad.

##### **b) Condición de resistencia:**

El árido debe ser totalmente inerte frente a los procesos químicos de hidratación del cemento con el agua de amasado, además de presentar resistencias superiores a las de diseño del hormigón.

En general los agregados pétreos en nuestro país, provienen de la desintegración físico-química, de las rocas de la cordillera, con resistencias mecánicas excelentes, producto del desgaste a la que son sometidas con el transporte a través de ríos y glaciales.

##### **c) Condición de estabilidad físico-química:**

Como se ha mencionado, los áridos empleados en la elaboración del hormigón, deben tener como propiedad relevante, no influir de ninguna forma en el proceso químico de hidratación del cemento, evitando el uso de áridos contaminados.

#### **3.2.5. Aditivos**

Un aditivo es un producto de características químicas que al agregarse en proporciones calculadas a pastas, morteros, y hormigones durante el proceso del mezclado, mejoran o modifican una o varias de las características y propiedades originales de las mezclas.

Aunque éstos no se consideran componentes esenciales del hormigón, su utilización se ha generalizado transformándose en un producto habitual para su elaboración, facilitando el proceso de colocación en condiciones y circunstancias que antes de su empleo, resultaban difíciles y en algunos casos insuperables.

No obstante lo anterior, se debe señalar que su uso no constituye una solución para una mezcla que posea ingredientes de baja calidad, dosificaciones incorrectas, mal manejo en el transporte, colocación, compactación y curado deficiente.

La utilización de los distintos aditivos y su proporción, debe considerar las especificaciones sugeridas por el fabricante, y ser controlado mediante mezclas de prueba, para obtener los resultados esperados en obra.

Aunque éstos no siempre son baratos, no tienden a generar un costo adicional ya que su utilización puede ocasionar ahorros, por ejemplo, en el contenido de cemento, en el costo de mano de obra necesaria para el proceso de compactación, curado y en las características de durabilidad del hormigón, evitando reparaciones a corto plazo.

### **3.3. Tipos de aditivos**

En cuanto a su composición, los aditivos se pueden clasificar en orgánicos e inorgánicos, siendo sus propiedades químicas su característica esencial.

Su incorporación está relacionada por su función e influencia sobre el hormigón, y su uso estará condicionado por:

- La obtención del resultado esperado.
- Que su incorporación no varíe la dosificación básica del hormigón
- Que el producto no afecte negativamente en otras propiedades del hormigón.
- Que su costo justifique su empleo.

La norma chilena NCh 2182. Of 95, clasifica los aditivos químicos que se agregan al mortero y al hormigón durante su etapa de fabricación, refiriéndose a los siguientes tipos:

- Tipo A; Aditivos plastificantes.
- Tipo B; Aditivos retardadores.
- Tipo C; Aditivos aceleradores.
- Tipo D; Aditivos plastificantes y retardadores.
- Tipo E; Aditivos plastificantes y aceleradores.
- Tipo F; Aditivos superplastificantes.
- Tipo G; Aditivos superplastificantes y retardadores.
- Tipo H; Aditivos incorporadores de aire.

### **3.4. Efecto de los aditivos y campo de aplicación**

a) Aditivos plastificantes: Los plastificantes o reductores de agua, permiten disminuir al máximo el agua de conveniencia que se agrega en la elaboración del hormigón, mejorando la trabajabilidad en el proceso de colocación y compactación. Recomendado para obtener hormigones de alta resistencia y baja permeabilidad.

b) Aditivos retardadores: Retrasan el inicio del fraguado manteniendo por más tiempo la trabajabilidad del hormigón, reduciendo el riesgo de fisuración. Recomendado para la ejecución en tiempo caluroso.

c) Aditivos aceleradores: Aumentan las resistencias iniciales y reducen el plazo del retiro de moldajes, sin embargo suelen contener componentes corrosivos, pudiendo afectar la composición del hormigón armado. Recomendado para tiempo frío

d) Incorporadores de aire: Proporcionan resistencia al ciclo hielo-deshielo, mayor docilidad, y baja permeabilidad, sin embargo el hormigón desarrolla menor resistencia mecánica. Recomendado para pavimentos.

Cuando el objetivo es la obtención de un hormigón durable ante condiciones adversas, se justifica el empleo de adiciones de características puzolánicas en la mezcla, la más empleada en nuestro país es la microsílíce.

El uso de la microsílíce como adición al hormigón por su elevada finura, 20 a 25 veces más alta que el cemento, requiere la incorporación de un aditivo plastificante o superplastificante, por cuanto necesitará de un incremento importante de agua de amasado, reduciendo en forma significativa su impermeabilidad.

## CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS DE UN HORMIGÓN DURABLE

### 4.1. Aspectos Generales

Un aspecto fundamental de todo tipo de estructuras, es que garanticen la continuidad de las funciones para la cual fueron destinadas, manteniendo su resistencia y características de utilidad durante el periodo de tiempo en servicio.

En el caso de las estructuras de hormigón armado, deben ser capaces de soportar el proceso de deterioro provocado por la acción de agentes externos al cual se encuentre expuesto, además de las solicitaciones para la cual fue diseñada la estructura.

**Vida útil de una estructura:** Se define como el tiempo a partir de la puesta en servicio de la estructura, durante el que debe mantener condiciones de seguridad, funcionalidad, geometría y aspecto, sin intervenciones importantes que obliguen a la ejecución de procesos de reparación o rehabilitación anticipados.

**Vida residual de una estructura:** Se entiende como el momento anterior en que la estructura alcanza el límite aceptable, o fin de la vida útil, periodo en que la estructura necesita reparación, remodelación o una renovación integral que permita ponerla nuevamente en servicio, evitando que el deterioro avance hasta el límite del colapso.

Según lo anterior, se debe mencionar que el concepto de durabilidad no supone un tiempo indefinido, como tampoco que las estructuras deban soportar cualquier tipo de acción o agente externo que influya sobre el hormigón y en la capacidad de la estructura.

Es por eso que la importancia en los requisitos y estrategias para garantizar la durabilidad de las estructuras, se deben considerar durante el proceso de diseño del proyecto, y adoptar medidas de atención necesarias, como por ejemplo:

- Condiciones climáticas y de exposición ante agentes agresivos.
- Las propiedades de los componentes del hormigón.
- La calidad de la ejecución de la obra.

Definidos los criterios relativos al diseño, el proceso de ejecución de la obra cobra suma importancia.

La obtención de un hormigón homogéneo, compacto e impermeable, son características que influyen de manera decisiva en la durabilidad de las estructuras.

## 4.2. Durabilidad del hormigón armado en ambiente marino

La durabilidad de las estructuras de hormigón armado expuestas al ambiente marino, depende principalmente en evitar el desarrollo del proceso de corrosión activa del acero de refuerzo.

Cuando el acero se ve comprometido por efecto de la corrosión, la estructura pierde la capacidad de soportar cargas de flexotracción, afectando su funcionalidad estructural, generando procesos de deterioro que pueden comprometer la continuidad de servicio para la cual fue diseñada.

En la NCh 170, “Hormigón requisitos generales”, documento principal de referencia para la especificación del hormigón en Chile, se establecen requisitos generales para la, confección, transporte, curado, entre otros tópicos para hormigones entre 2.000kg/m<sup>3</sup>, y 2.800kg/m<sup>3</sup>, sean éstos hormigones simples, como también hormigones armados.

Respecto a la durabilidad, en ella se indica lo siguiente:

“6.1.1. La durabilidad del hormigón depende de sus propiedades y de la presencia de agentes internos y externos que generen ataque al elemento estructural” (NCh 170, 2016)

6.1.2. “Para obtener un hormigón durable, resulta necesaria la implementación de medidas adecuadas en el diseño de la mezcla, la fabricación, correctas prácticas de colocación, compactación, curado y protección del hormigón” (NCh 170, 2016)

En casos de ataque por agentes externos que provocan corrosión, la NCh 170, 2016, define requisitos de resistencia según el grado de exposición, relacionados con la dosis mínima de agua o la profundidad de penetración de agua, según se indica en la Tabla N°4.

<b>Grado de exposición</b>	<b>Mínimo grado de resistencia especificado</b>	<b>Dosis mínima de cemento Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Profundidad de penetración de agua(mm) según norma NCh 2262</b>
C0	G17	240	-
C1	G17	270	≤ 50
C2-A	G20	300	≤ 40
<b>C2-B</b>	<b>G25</b>	<b>330</b>	<b>≤ 30</b>
C2-C	G35	360	≤ 20

Tabla N° 4.- Requisitos del hormigón según grado de exposición.

Según se indica en la tabla anterior, para el grado de exposición C0, la dosis mínima de cemento es  $240\text{kg/m}^3$ . (NCh 170, 2016).

Para los grados C1, C2-A, C2-B y C2-C, se debe cumplir con el mínimo grado de resistencia especificada y la dosis mínima de cemento, además se establece la profundidad de penetración de agua. (NCh 2262, Of 97).

La NCh 170,2016, clasifica los agentes externos que provocan corrosión definiéndolos como se señala en la Tabla N° 5.

<b>Grado</b>		<b>Agente externo</b>	<b>Exposición en condiciones de servicio</b>
C0	No agresivo	No aplica	Hormigón seco o protegido de la humedad ambiental
C1	Leve	CO <sub>2</sub>	Hormigón húmedo expuesto a altas concentraciones de CO <sub>2</sub>
C2-A	Moderado	Cloruro	Hormigón sumergido completamente en agua que contiene cloruro
<b>C2-B</b>	<b>Severo</b>	<b>Cloruro</b>	<b>Hormigón expuesto al aire salino</b>
C2-C	Muy severo	Cloruro	Hormigón expuesto a ciclos de humedad y a una fuente externa de cloruro proveniente de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen

Tabla N° 5.- Grados de exposición que provocan corrosión

### 4.3. Requisitos de durabilidad del hormigón

Para garantizar la durabilidad del hormigón en ambiente marino se deben considerar ciertos requisitos relevantes en el diseño y tratamiento del hormigón descritos en la NCh 170, 2016, y que permiten obtener la característica principal para proveer de protección al acero, la impermeabilidad.

#### 4.3.1. Tipo de cemento

La elección de un cemento corriente, respecto a uno de alta resistencia está sujeta a las condiciones de diseño y a la reacción de las adiciones con el Hidróxido de Calcio, (portlandita) y la obtención de compuestos estables químicamente, la alternativa es el empleo de cementos de alta resistencia con adiciones del tipo microsílíce, ceniza volante, escoria de alto horno o humo de sílice, siendo medios efectivos para la obtención de hormigones resistentes a la fijación de cloruros y más impermeables.

### 4.3.2. Dosis mínima de cemento

Al incrementar el contenido de cemento, la capacidad de fijación del hormigón se reduce frente al Cl y CO<sub>2</sub>. Normalmente un contenido de cemento en rangos de 300 kg/m<sup>3</sup>, es suficiente para la obtención de una baja permeabilidad.

La exposición a aire salino, corresponde a un grado de exposición severo, **C2-B**, debiendo cumplirse una, dosis mínima de cemento de 330 kg/ m<sup>3</sup> y una profundidad de penetración de agua menor o igual de 30 mm.

### 4.3.3. Relación agua /cemento

La relación agua-cemento se puede definir como la razón entre el contenido efectivo de agua y el contenido de cemento en masa del hormigón fresco, el contenido efectivo de agua es la diferencia entre el agua total presente en el hormigón fresco y el agua absorbida por los áridos, mientras que el contenido de cemento en masa del hormigón se trata más bien de los kilos de cemento

Cuando el hormigón está expuesto a ambiente marino y a la acción de cloruros, la relación de estos factores es fundamental y debe ser lo más baja posible, además de ser compatible con una adecuada compactación. La relación a/c afecta no solamente la resistencia a la compresión del hormigón, sino también su permeabilidad, con menores relaciones a/c, la concentración creciente de granos de cemento en la pasta deja menos espacio entre ellos para ser ocupados por el agua, al estar más unidos unos con otros.

La cantidad de agua para hidratar el cemento es de aproximadamente el 25 % del peso del cemento, nuestra normalización la fija en valores máximo de 0,45 en condiciones de exposición ambiental severas como lo es una fuente externa de cloruros.

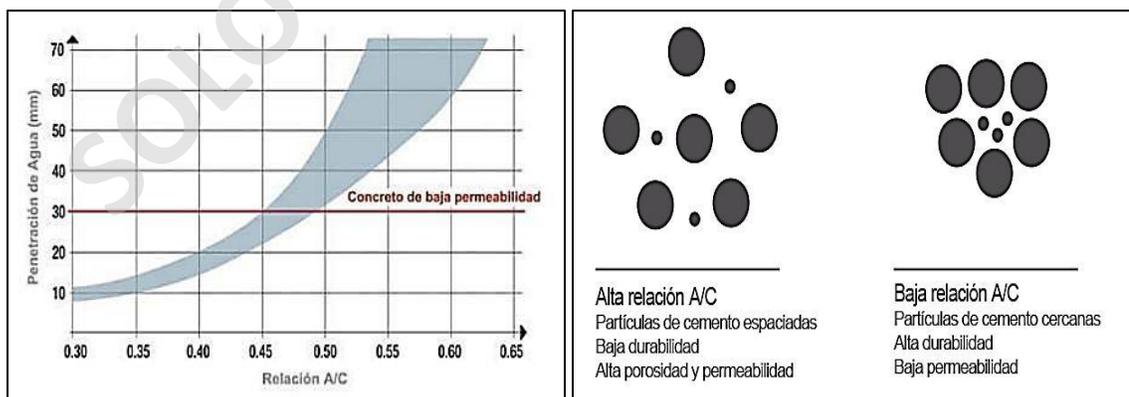


Figura N° 1.- Relación agua cemento

#### 4.3.4. Influencia de los áridos

La calidad de los agregados es de vital importancia, considerando que al menos tres cuartas partes del volumen del hormigón están compuestos de ellos, alrededor de un 80%, por lo tanto tienen gran influencia en las propiedades del mismo.

El uso de agregados de mala calidad o débiles, limitan la resistencia del hormigón afectando su durabilidad y su comportamiento estructural.

En relación a la curva granulométrica del árido total, se debe tener cuidado con la distribución, y el tamaño máximo de estos, para así minimizar la generación de nidos de piedra, procurando obtener la máxima compacidad posible con el hormigón.

#### 4.3.5. Colocación del hormigón

Ciertos aspectos relacionados con el proceso constructivo y colocación del hormigón que se deben controlar y cumplir, son los siguientes:

**a) Temperatura:** La temperatura del hormigón debe ser menor o igual a 35°C, y mayor o igual que 5°C.

**b) Condición climática:**

- Tiempo frío.
- Condición de alta evaporación. (tiempo caluroso).

En situaciones de tiempo frío, se deben adoptar medidas al momento del hormigonado, como durante el fraguado y curado del hormigón, asegurando que la temperatura del hormigón sea mayor a 5°, y no descienda de ese valor.

Para casos en donde la colocación del hormigón se efectúe en condiciones de tiempo caluroso y alta evaporación, se debe evitar la aparición de fisuras en edades tempranas en el hormigón, y tomar los resguardos necesarios para su protección, como por ejemplo:

- Pantallas reductoras de viento.
- Aumentar la humedad relativa.
- Sistemas generadores de sombra.
- Reducir la temperatura del hormigón fresco.

#### **4.3.6. Curado de hormigón**

Este proceso consiste en proporcionar al hormigón un ambiente de temperatura apropiada y un contenido de humedad tal, que permita conseguir el desarrollo de las propiedades que se esperan de él según su especificación.

Un adecuado proceso de curado, dará como resultado un hormigón más impermeable y con menor riesgo de fisuración, además de alcanzar su máxima resistencia y durabilidad

Las características principales de un proceso de curado eficiente, dependen de:

- Contenido suficiente de humedad.
- Temperatura favorable.

De lo anterior, se desprende lo siguiente:

El contenido de humedad es un aspecto importante en el desarrollo de la estructura durante el periodo de curado, ya que actúa favorablemente en su resistencia, por lo que durante la primera etapa el curado debe prevenir la evaporación de agua superficial, manteniendo al hormigón en una condición saturada o muy cercana, para el caso de hormigones sometidos a climas agresivos.

Cabe señalar que el curado actuará principalmente en la capa superficial del hormigón, por lo que su importancia es fundamental ante el ataque de agentes externos, protegiendo la armadura de refuerzo en su interior.

Por otra parte la temperatura, aunque es un factor de menor influencia que la humedad, permite que el desarrollo de la resistencia se sitúe en niveles normales, esto siempre y cuando esta se mantenga estable y dentro de valores cercanos a 20°C, aunque se pueden admitir tolerancias las que deben ser controladas.

#### **4.4. Métodos de curado del hormigón**

“Existen dos amplias categorías de curado, reconociendo que los procedimientos reales utilizados varían en forma importante, lo que depende de las condiciones de la obra y del tamaño, forma y posición del miembro de concreto” (Tecnología del concreto, Neville Adam, 1995).

Los métodos descritos en el texto se indican a continuación:

**a) Surtir el agua que puede ser absorbida por el hormigón:**

Este método debe considerar que la superficie del hormigón permanezca de manera continua en contacto con el agua durante un periodo de tiempo específico, su inicio debe ser tan pronto como la superficie del hormigón no se encuentre proclive a sufrir daños por pérdidas de agua.

**b) Método de barrera de agua:**

Este método se basa en la protección de la superficie del hormigón en estructuras horizontales como losas, generalmente se protegen con láminas de polietileno traslapadas y puestas de manera plana, adicionándole un elemento superficial para evitar corrientes de aire entre la lámina y la superficie de hormigón, en el caso de elementos verticales, la generalidad es mantenerla protegida con arpillera mojada fijada a la estructura.

#### **4.5. Duración del curado del hormigón**

Los factores relevantes para determinar la duración de curado del hormigón, deben considerar las exigencias de las condiciones de secado y los requisitos de durabilidad que se esperan, el periodo mínimo de curado debe considerar por ejemplo, “la exposición externa, congelación y deshielo sin usar agentes descongelantes, y para la exposición a sustancias químicas agresivas” (Tecnología del concreto, Neville Adam, 1995)

El proceso de curado del hormigón deberá iniciarse rápidamente, especialmente en climas con alta temperatura, baja humedad relativa y viento, además deberá ser de manera continua. La intermitencia del proceso no obstante, permitirá evaluar su desarrollo y efecto.

En casos de hormigones con una baja razón A/C, el proceso de curado continuo es de suma importancia en la edad temprana, ya que “una hidratación parcial puede hacer discontinuos los poros capilares, al renovarse el curado, el agua no sería capaz de entrar en el hormigón y no se presentaría hidratación adicional” (Tecnología del concreto, Neville Adam, 1995)

Por otra parte, los hormigones que presentan una razón A/C alta, retienen un volumen alto de poros capilares, con esto el proceso de curado se puede reanudar en cualquier momento.

Un proceso de curado deficiente, tiende a generar problemas que repercuten en la durabilidad del hormigón, especialmente en el hormigón armado, razón por la cual el proceso es importante para la obtención de un buen resultado.

Respecto al plazo de curado del hormigón, la NCh 170-2016 indica lo siguiente:

a) A menos que se aplique lo indicado en b) o c) el curado se debe realizar por lo menos durante 7 días.

b) Se permite discontinuar el curado cuando la resistencia real del hormigón sea al menos de un 70% de la resistencia especificada. Para estimar la resistencia real se pueden utilizar métodos como madurez, probetas curadas en condiciones de obra, testigos, u otros.

c) Se permite discontinuar el curado cuando la resistencia potencial del hormigón medida en probetas de laboratorio sea al menos de un 85% de la resistencia especificada.

SOLO USO ACADÉMICO

## CAPÍTULO V: ACERO DE REFUERZO

### 5.1. Aspectos Generales

En este capítulo se describirá de manera general los aspectos asociados a la función del acero embebido en el hormigón, y como en combinación con el hormigón, constituyen un elemento único desde el punto de vista de las características físicas dado las cualidades individuales de ambos materiales.

### 5.2. Hormigón armado

Se define como hormigón armado, al material que resulta de la combinación del concreto y el acero en cantidad adecuada según las exigencias del diseño, y con agregados como arena, grava y agua, y en algunos casos con adiciones, mezcla que al fraguar y endurecer adquiere resistencia, permitiendo soportar distintos esfuerzos que se presentan en las estructuras gracias a la buena adherencia y acción de ambos materiales.

### 5.3. Función del acero de refuerzo

El hormigón por sí solo asegura una gran resistencia a las solicitaciones de compresión, pero muy escasa a los esfuerzos de tracción, por lo que no es recomendable su uso para estructuras sometidas a esas condiciones de esfuerzo.

Es así como las barras de acero de refuerzo instaladas en las zonas apropiadas, confieren características físicas necesarias al hormigón, formando un elemento capaz de resistir esfuerzos o tensiones combinadas, entonces se puede decir que las compresiones son resistidas por el hormigón y las tracciones por flexión, corte, torsión o normales por las barras de acero.

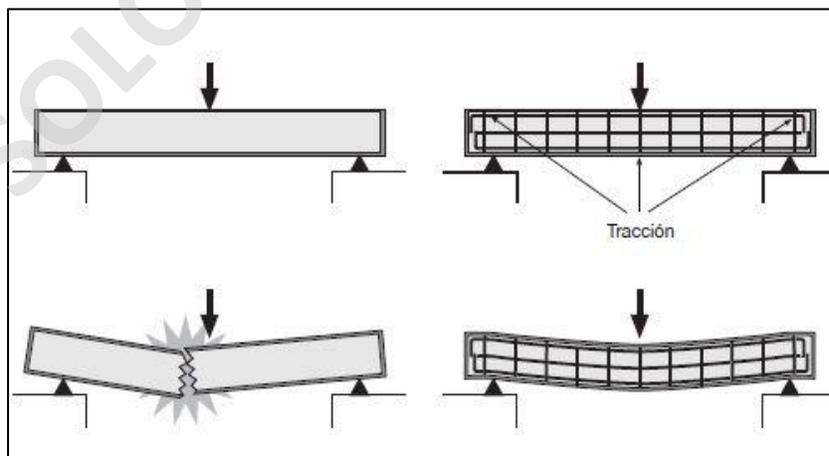


Figura N° 2.- Viga cargada con y sin armadura

#### 5.4. Calidad del acero

El grado de calidad del acero de refuerzo es importante, respecto a la obtención de las propiedades finales del hormigón armado, por lo tanto el empleo de un acero adecuado y su correcta colocación, es un aspecto relevante en el resultado final de la estructura.

En la Tabla N° 6, se indica la calidad del acero y las propiedades mecánicas según su tipo.

Calidad del Acero	Resistencia a la Tracción		Límite de Fluencia	
	MPa	Kg / mm <sup>2</sup>	MPa	Kg / mm <sup>2</sup>
A 440 – 280 H	440	44,9	280	28,6
A 630 – 420 H	630	64,2	420 - 580	42,8 – 59,1

Tabla N° 6.- Calidad del acero

Nomenclatura: A440 – 280H

- A = Acero al carbono.
- 440 = Resistencia a la rotura de 440 MPa.
- 280 = Tensión de fluencia de 280 MPa.
- H = Uso hormigón armado.

Nomenclatura: A630 – 420H.

- A = Acero al carbono.
- 630 = Resistencia a la rotura de 630 MPa.
- 420 = Tensión de fluencia de 420 MPa (mínimo) 580MPa (máximo).
- H = Uso hormigón armado.

Los largos comerciales de barras van de 6 a 12 metros, y de 6 a 36 mm de diámetro, pudiendo ser barras lisas o barras con resaltes.

Las barras con resaltes aumentan la adherencia del acero con el hormigón, debido al desarrollo de una mayor superficie de contacto.

## CAPÍTULO VI: CORROSIÓN DEL ACERO EN EL HORMIGÓN ARMADO

### 6.1. Aspectos generales.

En general se entiende que la seguridad de las estructuras de hormigón armado y su durabilidad dada las características del material es un asunto garantizado, sin embargo, en esencia el hormigón es un material permeable y fisurable, por lo tanto la barrera física que proporciona el hormigón no bastará para evitar el proceso de corrosión del acero.

Además de la barrera física, el acero embebido en el hormigón alcanza un estado de pasividad química, proporcionado por el pH del hormigón que las rodea, es así como el descenso del pH del hormigón facilitara la degradación del acero en su interior.

### 6.2. Concepto de corrosión

Se puede definir como una anomalía producto del ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con el medio ambiente, provocando alteraciones que degradan la composición original del material, y la pérdida de sus propiedades estructurales.

La corrosión del acero de refuerzo en el hormigón, ocurre como resultado de la formación de una celda electroquímica, compuesta principalmente por:

- Un cátodo donde se produce la oxidación.
- Un ánodo donde se produce la corrosión.
- Un electrolito.

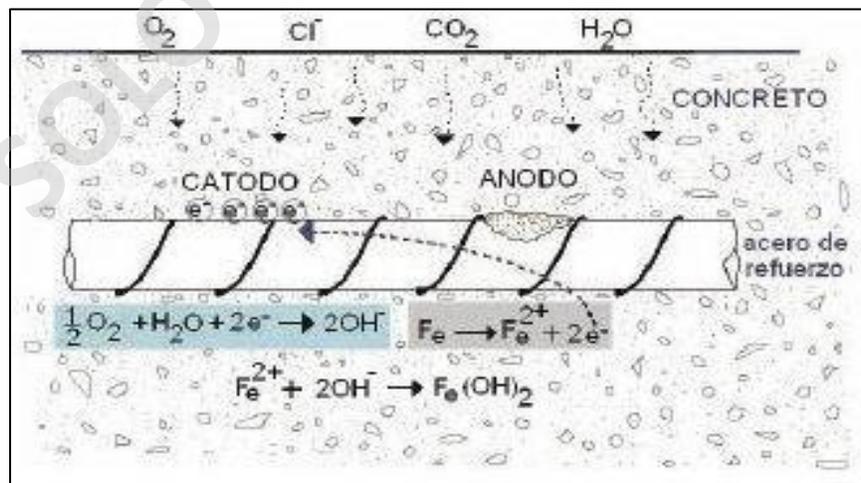


Figura N° 3.- Representación electroquímica de la corrosión

### 6.3. Hormigón armado en ambiente marino

Las estructuras de hormigón armado que se encuentran sometidas a climas costeros, pueden presentar variados síntomas producto de la exposición a esta condición ambiental.

En ambiente marino, el proceso degenerativo de las estructuras se produce principalmente por la acción de los cloruros del ambiente y su efecto en el desarrollo de la corrosión de la armadura interior.

La magnitud del daño de las estructuras, dependerá también de cuan cerca se encuentre la estructura del mar, así mientras más alejada la estructura, menor será el daño causado.

Se pueden distinguir tres clases de exposición de las estructuras en ambiente marino:

- Exposición aérea.
- Zona sumergida.
- Zona de salpicaduras de marea.

La investigación se centrará en la influencia de la exposición aérea en el hormigón armado, y su repercusión en el deterioro de la armadura de refuerzo.

**Exposición aérea:** Situada por encima del nivel de pleamar, y con una influencia de hasta 5 km de la línea de costa, las estructuras nunca están en contacto con el mar, sin embargo recibe la brisa marina y la sal procedente de ella.

En esta condición de exposición, lo que se busca es lograr la máxima impermeabilidad del recubrimiento, para limitar el paso de cloruros hacia el interior de la estructura, transformándose esta característica en el objetivo clave para garantizar la protección del acero de refuerzo.

Como se indicó anteriormente, los requisitos que permiten obtener esta característica impermeable en el hormigón son las siguientes:

- Tipo y cantidad de cemento, (dosificación adecuada).
- Granulometría de los agregados pétreos, precaución con el tamaño máximo.
- Procesos de colocación, compactación y curado compatibles con el logro de la máxima densidad, es decir, eliminar la aparición de nidos de piedra.
- Recubrimiento adecuado.
- Evitar que los componentes del hormigón contengan cloruros.

#### 6.4. Corrosión del acero de refuerzo en el hormigón

“En el caso del acero de refuerzo embebido en el hormigón, esta circunstancia se dará cada vez que en alguna zona de las barras se dañe o no se forme la capa pasiva característica, actuando esta zona como un ánodo frente al resto del material donde permanece la pasivación, la cual se comportará como cátodo.” (Manual de armaduras de refuerzo para hormigón, Rondon Carlos, 2005).

Si bien el hormigón es una barrera física y química que protege al acero de refuerzo ante el proceso de corrosión, en ningún caso lo detiene.

Esto dado que el hormigón es un material permeable y fisurable, condiciones que influyen y facilitan el ingreso de agentes agresivos desde el exterior, afectando la integridad de las estructuras.

Además, ya sea producto de una deficiente ejecución, cambio en las condiciones de servicio, la acción de algún tipo de agregado o aditivo, se pueden generar discontinuidades en la composición y distribución del hormigón, dando lugar a la formación de espacios o nidos que pueden propiciar la penetración de agentes externos, favoreciendo el transporte de líquidos y/o gases a través del hormigón, por el cual circulan agua y oxígeno, facilitando con esto el proceso degenerativo del acero causado por el desarrollo de la corrosión.

El proceso de corrosión de la armadura de refuerzo, se puede representar en dos períodos.

**a) Período de iniciación:** Es el tiempo en que el agente agresor, ( $\text{CO}_2$ , e Iones de Cloruro) demoran en traspasar el recubrimiento, hasta alcanzar el acero de refuerzo, provocando la pérdida de la capa de óxido protectora.

La duración de esta fase está asociada a la calidad y espesor del recubrimiento de hormigón y a la velocidad de penetración de los agentes agresivos.

**b) Período de propagación:** Es el proceso de acumulación progresiva del daño del acero en el hormigón, se caracteriza por la destrucción de la capa pasiva hasta alcanzar un nivel inaceptable en términos de capacidad estructural.

En el caso del periodo de propagación, la corrosión del acero ya se ha desarrollado, es por esto que los esfuerzos deben enfocarse en dilatar al máximo el periodo de iniciación, y evitar que se alcance el periodo de propagación y la corrosión activa del acero.

## 6.5. Despasivación de la armadura de refuerzo

El acero cuenta con dos protecciones ante el mecanismo de la corrosión, la física (recubrimiento del hormigón), y a la química (pH alcalino del hormigón).

La protección química del acero embebido en el hormigón, desarrolla en su superficie una capa protectora de óxido de bajo espesor, que impide toda corrosión posterior, situando al acero en estado de pasividad.



Figura N° 4.- Capa pasiva del acero.

La desprotección, o despasivación del acero se puede perder por los siguientes factores:

**a) Por pérdida de alcalinidad del hormigón:** Este fenómeno ocurre cuando los hidróxidos alcalinos en el hormigón, interactúan con el  $\text{CO}_2$  de la atmosfera, que ingresa al hormigón por sus poros, se disuelve en el agua formando un compuesto ácido, (carbonato de calcio) reduciendo el pH alcalino del hormigón hasta rangos no superiores a 9, provocando la pérdida de pasividad del acero, desarrollando corrosión generalizada.

**b) Por acción de los cloruros:** La despasivación del acero provocada por el ingreso de cloruros hacia el interior del hormigón a través de la red de poros, atacando el acero en los puntos débiles en el hormigón, sea por caída del pH, mala compactación o fisuras, provocando roturas en puntos de la capa protectora del acero desarrollando corrosión localizada.

Se debe destacar que el oxígeno y humedad en el hormigón, son factores que actúan de manera ambivalente en el acero, ya que en condiciones de pasividad, cierta cantidad de oxígeno y humedad pueden aumentar el espesor de la capa pasiva del acero, sin embargo, cuando la armadura desarrolla el proceso de corrosión activa, ambos factores aceleran considerablemente el ataque.

## **6.6. Factores que influyen en el desarrollo de la corrosión**

No existe una única condición determinante que induzca la corrosión en el acero de refuerzo, por lo que el proceso depende de numerosos factores.

Ya se mencionó anteriormente que la obtención de un hormigón que garantice la protección de la armadura de refuerzo depende principalmente, del tipo y dosificación del cemento, la razón agua/cemento, el tipo de áridos, de la colocación y curado del hormigón.

Considerando que las causas principales en el desarrollo de la corrosión de las armaduras de refuerzo en condiciones de exposición aérea, actúan por el mecanismo de difusión, la calidad del recubrimiento es un aspecto importante para la protección del acero tanto en términos de espesor e impermeabilidad.

## **6.7. Recubrimiento de hormigón**

El hormigón en su condición recubrimiento, constituye un medio ideal para la conservación del acero de refuerzo, ya que proporciona a este, una capa fina y muy adherente de óxido, denominada capa de pasivación, y dado su alto índice de alcalinidad, pH de 12,5 a 14, impide el proceso degenerativo posterior causado por la corrosión del acero.

La protección que otorga el hormigón que recubre la armadura de acero, dependerá del grado de impermeabilidad de éste, característica que está dada por la compacidad y homogeneidad del hormigón.

Por otra parte el espesor del recubrimiento, es importante para garantizar la protección de la armadura, por lo que el diseño de un espesor adecuado es vital para estructuras expuestas a ambientes agresivos.

Para ambientes muy corrosivos, es recomendable considerar espesores mínimos de acuerdo a la procedencia del hormigón, si es fabricado en obra o fabricado en planta, con condiciones de control y de acuerdo al elemento estructural.

En hormigón fabricado en obra los espesores varían de 50 a 60 mm, en cambio en el hormigón premezclado, con los controles de materiales y proceso productivo de planta, los espesores varían de 40 a 50 mm.

## 6.8. Grado de corrosión de las barras de acero nuevas

Considerando que las barras de acero nuevas, expuestas al ambiente generan su proceso de oxidación, el Manual de armaduras de refuerzo para hormigón, propone una tabla de grados de corrosión de armaduras individuales nuevas clasificándolas de la siguiente manera:

- Grado A<sub>0</sub>: Barra recién laminada.
- Grado A<sub>1</sub>: Barra levemente oxidada.
- Grado B: Barra poco oxidada.
- Grado C: Barra oxidada.
- Grado D: Barra muy oxidada.

Las barras Grado A<sub>0</sub> y Grado A<sub>1</sub>, no tienen restricciones de uso.

Las barras Grado B y C, requieren tratamiento superficial y profundo respectivamente, y su uso está condicionado a una verificación de su masa y características de dimensiones.

Las barras Grado D, no son recomendables dado su avanzado deterioro, y un tratamiento no asegura el cumplimiento de requisitos estructurales y de diseño.

## 6.9. Tipos de corrosión

- Corrosión localizada. (por cloruros)
- Corrosión generalizada. (por carbonatación)

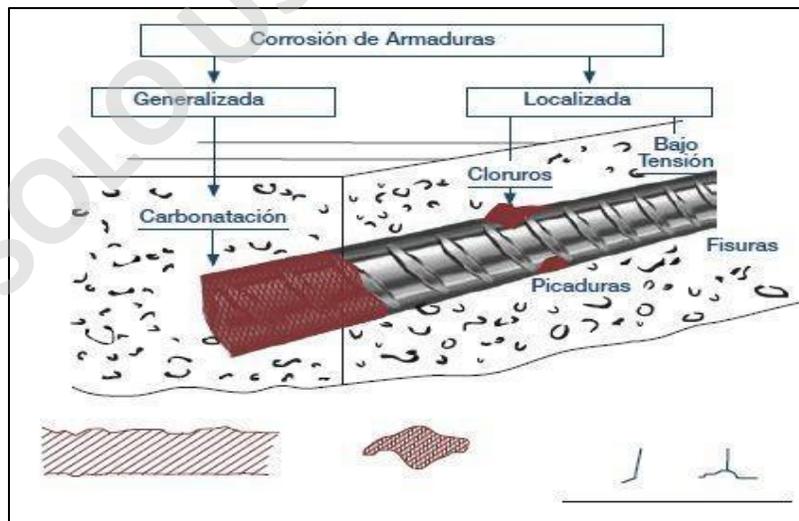


Figura N° 5.- Tipos de corrosión en el hormigón armado.

## **CAPÍTULO VII: CORROSIÓN INDUCIDA POR CLORUROS**

### **7.1. Aspectos generales**

La corrosión inducida por cloruros en ambiente marino aéreo, se produce por la pérdida de la capa pasiva en pequeñas áreas de la superficie del acero de refuerzo, generándose lo que se denomina corrosión por picaduras, con reducción local de la sección inicial del acero.

### **7.2. Mecanismo de la corrosión por cloruros**

Para que se desarrolle la corrosión en el acero de refuerzo, los iones de cloruro depositados en la superficie del recubrimiento deben penetrar en el hormigón a través de la red de poros generando la pérdida localizada de la capa pasiva del acero, siendo el ingreso por difusión el principal mecanismo de transporte de cloruros al interior de las estructuras de hormigón con exposición aérea.

El ataque por cloruros puede darse por presencia de puntos débiles en la estructura sea por descenso en el nivel de pH, (carbonatación del hormigón), nidos por mala compactación, fisuras o defectos en la superficie del hormigón, facilitando de esta manera la penetración hasta alcanzar la armadura de refuerzo, provocando picaduras puntuales en la capa pasiva del acero desarrollando corrosión localizada.

Resultado de esto, se genera un contenido de acidificación mayor y una liberación de iones de cloro, el proceso de corrosión se acelera en la propia picadura y así más cloruros son atraídos hacia ella aumentando la concentración en su superficie.

El cantidad de cloruros alrededor de la armadura puede no ser uniforme, esto producto de diferencias puntuales de permeabilidad, variaciones en el espesor del recubrimiento de la armadura, características del acero respecto a su diámetro, y la profundidad dentro del hormigón.

La concentración del daño es mayor en la armadura que coincide con el deterioro del hormigón sean fisuras, desprendimientos, incluso con una baja relación agua/cemento.

“Respecto al tiempo que tardan los cloruros en llegar a la armadura, en una estructura ya construida, es importante examinar cual es la profundidad de penetración al momento de realizar la inspección, ya que el recubrimiento de hormigón debe ser superior a la profundidad que sean capaces de alcanzar estos iones cloruro en el tiempo previsto de vida útil de dicha estructura.” (Manual de armaduras de refuerzo para hormigón, Rondon Carlos, 2005).

En la Figura N° 6, se describe de manera simplificada, el fenómeno de corrosión por cloruros.

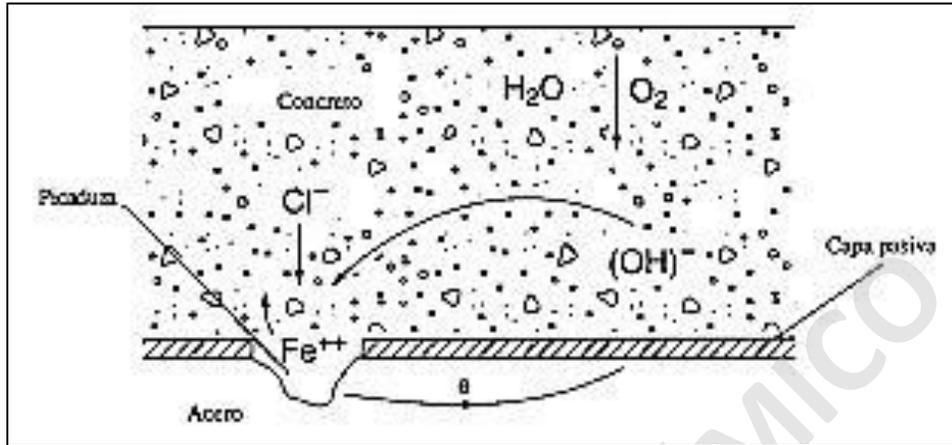


Figura N° 6.- Representación esquemática de corrosión por cloruros.

### 7.3. Factores e influencia en la corrosión por cloruros

Intervienen en la corrosión	Factores de influencia
Cloruros en el aire	Diferencias regionales por el viento Reducción de cloruros en el aire a mayor distancia de la costa
Cloruros en la superficie	Diferencias locales en la misma superficie
Espesor del recubrimiento	Establecido en el diseño Errores en el encofrado y curado Disminución durante el hormigonado
Corrosión en el hormigón	Alcalinidad elevada Cloruros presentes en el hormigón Presencia de agua y oxígeno
Permeabilidad a cloruros	Cantidad y tipo de hormigón Relación a/c Condiciones de construcción Deterioros

Tabla N° 7.- Factores que intervienen en la corrosión por cloruros.

#### 7.4. Procedencia de los cloruros

El ataque de cloruros puede ser causado por dos factores relacionados a su procedencia, sin embargo no se puede establecer un contenido nulo de cloruros en los ingredientes para la composición del hormigón, ya que aunque en pequeñas cantidades, estos están presentes en los componentes, sin embargo el riesgo de corrosión aumenta en condiciones específicas dependiendo de su procedencia.

El contenido de cloruros puede provenir de:

**a) Cloruros presentes en la mezcla:** Incorporados a la mezcla sea por los componentes del hormigón o adiciones, pudiendo describirse dos etapas:

En el hormigón en estado plástico, la alcalinidad en los poros aún se encuentra en desarrollo, y en consecuencia el proceso de corrosión se puede generar de manera más rápida.

En el hormigón endurecido, el contenido de cloruros alrededor del acero de refuerzo no se distribuye de manera uniforme y por lo general no forman concentraciones localizadas.

Entre las fuentes de cloruro presentes en el hormigón se encuentra los áridos contaminados, cemento y/o aditivos. Dado lo anterior, la NCh 170-2016, fija contenido máximo de cloruros en hormigones armados o reforzados endurecidos, en edades de 28 a 42 días, de  $1,20 \text{ kg Cl/m}^3$ , equivalente al 0,15% en peso del cemento, y en el caso de hormigones pretensados la cifra disminuye a  $0,25 \text{ kg Cl m}^3$ , equivalente al 0,06% en peso de cemento.

**b) Ingreso desde el exterior:** Por sales descongelantes, agua de mar en contacto con el hormigón, o por el transporte de finas gotas de agua de mar transportadas por el aire depositándose en la superficie del hormigón, penetrando por difusión a través de su estructura de poros.

En ese sentido cuando los cloruros penetran desde el exterior, no se generan concentraciones uniformes en la armadura, sea por diferencias puntuales de permeabilidad o variaciones en el espesor del recubrimiento, generándose de esta forma corrosión localizada.

Algunas consideraciones importantes y que se deben tener en cuenta en el caso del ingreso de cloruros desde el exterior son:

- La cantidad de ellos que genera la despasivación.
- El tiempo en que tardan en llegar a la armadura.
- La velocidad de avance una vez desencadenada la corrosión.

Respecto al tiempo en que tardan los cloruros en alcanzar la armadura de una estructura de hormigón armado, lo que importa es conocer la profundidad de penetración, ya que el recubrimiento de hormigón debe ser superior a la profundidad que los cloruros sean capaces de alcanzar la armadura, en el tiempo previsto de vida útil de la estructura.

El modelo predictivo que más se utiliza para calcular la velocidad de penetración, y que se ajusta a la concentración de cloruros en las estructuras, es la solución propuesta en la segunda ley de Fick de difusión. Sin embargo, al igual como se describe en el capítulo siguiente, con fines prácticos es más apropiado utilizar la función de raíz cuadrada en el tiempo.

$$x = k * \sqrt{t}$$

Donde  $x$  es la profundidad de penetración de Cl (mm),  $k$  es la velocidad de avance de Cl, (mm/año<sup>1/2</sup>), y  $t$  es el tiempo en años.

El cálculo de  $x$ , es complejo dado la multiplicidad de factores que influyen, (porosidad del hormigón, tipo de cemento, nivel de concentración de cloruros, contenido de humedad del hormigón, etc.)

### **7.5. Saturación de hormigón**

Se refiere al contenido de agua de poros, si están llenos de agua o si presentan un porcentaje libre para el ingreso de oxígeno, así a mayor contenido de agua en la red de poros, se limita el acceso de oxígeno hacia el interior del hormigón.

En el caso de las estructuras completamente sumergidas, se encuentran protegidas del proceso de corrosión por la ausencia de oxígeno en la red de poros del hormigón, a pesar de encontrarse en un ambiente altamente contaminado.

En zonas de salpicadura la superficie del hormigón se humedece y se seca alternativamente, condición que permite el avance de los cloruros hacia el interior por absorción capilar hasta una determinada profundidad, avanzando posteriormente por difusión.

En el caso de exposición aérea, los cloruros del ambiente son transportados por el viento depositándose en la superficie del hormigón, avanzando hacia el interior mediante el mecanismo de difusión.

## **7.6. Período de iniciación y propagación**

En el período de iniciación comprende el tiempo de avance a través del hormigón de recubrimiento hasta alcanzar la armadura.

En el caso del periodo de propagación, la corrosión del acero ya se ha desarrollado, distribuyéndose progresivamente por toda la armadura.

## **7.7. Penetración de cloruros en el hormigón**

La capacidad del hormigón para respecto a su resistencia a la penetración de cloruros determina la durabilidad de las estructuras.

La tasa de penetración de cloruros hacia el interior del hormigón, depende de su estructura de poros, la que se puede ver afectada por los materiales empleados en la elaboración del hormigón, procesos constructivos, relación agua/cemento, etc.

### **7.7.1. Espesor del recubrimiento**

El espesor del recubrimiento para las barras de refuerzo es un aspecto importante para el control del transporte de cloruros, mientras más grueso es el recubrimiento, más largo es el intervalo de tiempo antes de que la concentración de cloruros en la superficie desarrolle el periodo de iniciación.

Aún con lo anterior, esta solución no es de ninguna utilidad si el hormigón presenta alta permeabilidad.

Los mecanismos de penetración de cloruros en el hormigón durante la fase de iniciación, además del contenido de humedad, están condicionados por:

- Permeabilidad del hormigón.
- Absorción.
- Difusión.

La permeabilidad y la absorción, son mecanismos de transporte muy rápidos, mientras que la difusión es un proceso mucho más lento.

### **7.7.2. Permeabilidad del hormigón**

Se puede describir como la capacidad del hormigón para transferir fluidos a través de su estructura de poros en un determinado tiempo. El volumen, tamaño y distribución de la red de poros, determinan la velocidad del hormigón para absorber y facilitar la difusión de cloruros del ambiente hacia el interior.

Si la porosidad es alta y los poros están interconectados, se facilita el transporte de cloruros hacia el interior y en consecuencia la permeabilidad también es alta.

Por otra parte si los poros son discontinuos se limita el transporte de cloruros hacia el interior, entonces la permeabilidad del hormigón es baja.

Cuanto más permeable sea el hormigón, menor será su resistencia a la penetración de agentes agresivos, y en consecuencia menor será su durabilidad.

Además de la calidad del hormigón respecto a su baja permeabilidad, la relación espesor/permeabilidad actúan en conjunto, pudiendo modificarse el uno por el otro, de manera tal que a menor espesor de recubrimiento, se requiere una resistencia a la permeabilidad más alta y viceversa.

La permeabilidad del hormigón se puede reducir considerando lo siguiente:

- Reducción de la relación agua/cemento.
- Cementos puzolánicos o con adiciones de puzolanas.
- Buena graduación de los agregados.

Respecto a la relación agua/cemento, puede considerarse un aspecto determinante ante el comportamiento del hormigón en ambientes marinos, así mientras menos sea el agua utilizada, menor será la permeabilidad del hormigón.

Es más mientras menor sea la relación agua/cemento, la efectividad de las adiciones aumenta, el uso de cenizas o escoria de alto horno, por ejemplo, otorga al hormigón mayor resistencia a la penetración de cloruros.

### **7.7.3. Absorción**

“La absorción es el resultado del movimiento capilar en los poros del concreto que están abiertos al medio ambiente. Se dice que puede ocurrir acción capilar sólo en concreto parcialmente seco, no hay absorción de agua en concreto completamente seco o en concreto saturado”. (Tecnología del concreto, Neville Adam, 1995).

El mecanismo de absorción se produce cuando una estructura está expuesta a ciclos de humedad y secado, dependiendo de la zona de exposición en que se encuentre.

Si la superficie del hormigón se humedece y se seca alternativamente, condición que permite el avance de los cloruros hacia el interior por absorción capilar, avanzando hasta una determinada profundidad, reduciendo la distancia que tienen que recorrer los cloruros, los que avanzan posteriormente por difusión.

#### **7.7.4. Difusión**

“Difusión es el proceso en el cual el fluido se mueve sujeto a un diferencial en concentración; la propiedad importante del concreto es la difusividad. Se pueden difundir gases a través de un espacio lleno de agua o a través de un espacio lleno de aire pero, en el primer caso, el proceso es más lento que en el último”. (Tecnología del concreto, Neville Adam, 1995).

La difusión de cloruros depositados en la superficie del hormigón es el principal mecanismo de transporte en condiciones de exposición aérea, en donde los cloruros depositados en la superficie del hormigón, penetran a través de la red de poros desde los puntos de mayor concentración hasta los puntos de menor concentración, sea por baja permeabilidad o deficiencias en la superficie exterior del hormigón expuesto al ambiente.

Aspectos que facilitan en el mecanismo de difusión son los siguientes:

- Porosidad del hormigón.
- Tipo de cemento.
- Exposición al medio ambiente.
- Contenido de humedad en el hormigón.

La importancia de los mecanismos de penetración descritos anteriormente está dada por las condiciones de exposición, el contenido de humedad y la red de poros, así la penetración de cloruros en las primeras capas del hormigón dependerá de la absorción, mientras que la penetración a profundidades mayores, está determinada por el mecanismo de difusión a largo plazo, siendo este el principal mecanismo de transporte en condiciones de exposición aérea.

#### **7.8. Contenido crítico de cloruros**

Se define contenido crítico de cloruros, a la cantidad o concentración límite de estos que generan el proceso corrosión activa en el acero de refuerzo. El valor crítico es variable dado que la concentración de cloruros que influyen en ese valor, depende de ciertos factores tales como:

- Características del hormigón utilizado.
- Relación agua/cemento.
- Curado y compactación.
- Contenido de humedad.
- pH de la solución de poros.
- Tipo de acero.

Esta multiplicidad hace difícil fijar un valor único, por lo tanto un mismo hormigón puede presentar concentraciones límites distintas en condiciones de ubicación, función y exposición ambiental.

Para el caso de esta investigación, en estructuras con exposición aérea, el contenido expresado en % en peso de hormigón es de 0,25% para cementos Portland normales, y 0,30% para cementos Portland con adiciones.

SOLO USO ACADÉMICO

## CAPÍTULO VIII: CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN

### 8.1. Aspectos generales

La característica del proceso de carbonatación del hormigón, está asociada a un ataque uniforme en la superficie del acero de refuerzo producto del descenso de la alcalinidad (pH) en el hormigón, afectando la capa pasiva del acero, provocando su pérdida de estabilidad.

### 8.2. Mecanismo de la carbonatación

La carbonatación del hormigón, se debe a la reacción ante el ingreso por difusión del  $\text{CO}_2$  contenido en el aire, con la portlandita o hidróxido de calcio del cemento endurecido, formando carbonato cálcico. Este proceso produce un notable descenso del pH alcalino que en estado inicial se sitúa entre 12,5 y 14, pudiendo descender hasta valores mínimos próximos a 8 a 9.

Cuando progresa el avance de carbonatación a través del hormigón alcanzando la superficie del acero, la condición de pasividad de la armadura comienza a perderse, dejando de ser estable ( $\text{pH} < 9$ ). Así condiciones ambientales, (oxígeno, humedad y temperatura) desarrollarán un proceso de corrosión generalizada en la barra, la que aumentará su volumen y en consecuencia expandiéndose provocando el deterioro progresivo en el recubrimiento de hormigón y merma en la capacidad portante de los elementos estructurales afectados.

El proceso de carbonatación y su desarrollo considera dos periodos:

**a) Periodo de incubación:** Este periodo depende principalmente del espesor y calidad del recubrimiento, y comprende el tiempo desde cuando se inicia la carbonatación, hasta cuando las armaduras empiezan a corroerse.

**b) Periodo de propagación:** Este periodo depende básicamente de la humedad relativa en el hormigón de recubrimiento ya carbonatado, y corresponde al tiempo de avance de la corrosión ya desarrollada.

Además de la concentración de dióxido de carbono en el ambiente, en cantidades que van desde 0,035% en zonas rurales, hasta 0,3% en ciudades, otra variable es la humedad relativa (HR), ya que el  $\text{CO}_2$ , ingresa al hormigón en función del contenido de humedad en la red de poros.

Respecto a las condiciones ambientales, la humedad relativa determina el contenido de humedad del hormigón, influyendo a su vez en el grado de saturación de la red de poros, siendo parámetro fundamental en el proceso de carbonatación.

En condiciones de HR baja, menores del 50%, la velocidad del frente de carbonatación se acelera dada la baja cantidad de agua en la red de poros, facilitando la difusión de CO<sub>2</sub> al interior.

Por otra parte en condiciones de HR alta, la cantidad de agua en la red de poros, o nivel de saturación, dificulta la difusión del CO<sub>2</sub>.

Respecto a lo anterior, en ambiente marino y en condiciones de exposición aérea de la estructura, la HR se sitúa en niveles promedio de 80% y relativamente estables, en consecuencia el avance de la carbonatación en el hormigón, es un proceso lento y su influencia en el desarrollo de corrosión del acero es considerablemente menor.

No obstante lo anterior, factores que se deben considerar, con objeto de prevenir el deterioro del hormigón por carbonatación son los siguientes:

- Contenido de humedad del hormigón.
- Porosidad del hormigón.
- Permeabilidad del hormigón.

### **8.2.1. Contenido de humedad del hormigón**

La acción del proceso de carbonatación avanza de manera más rápida, si la humedad relativa del hormigón se encuentra en rangos entre 50 y 60%, a una humedad más baja, no hay suficiente agua en los poros, para que se disuelvan en cantidades significativas de hidróxido de calcio.

Por otra parte, si la humedad se encuentra por sobre el 80%, los poros se saturan progresivamente con agua, evitando en gran medida el ingreso del dióxido de carbono.

### **8.2.2. Porosidad del hormigón**

La porosidad del hormigón es una condición fundamental en el avance de la carbonatación, ya que la red de poros es el medio por el cual el CO<sub>2</sub> proveniente del exterior avanza hacia el interior del hormigón provocando la despasivación de la armadura de refuerzo.

### **8.2.3. Permeabilidad del hormigón**

Asegurar la impermeabilidad del hormigón es la clave que garantiza la protección del acero de refuerzo y su durabilidad, por lo que consideraciones en la elaboración del hormigón, como por ejemplo, una baja relación agua/cemento, compactación y vibración adecuada, o el uso de aditivos, suponen técnicas que al ser aplicadas correctamente reducen la permeabilidad y dificultan la difusión del CO<sub>2</sub>, a través de los poros del hormigón.

### 8.3. Velocidad de avance del frente de carbonatación

El modelo matemático más simple para determinar la velocidad de penetración de carbonatación a través de la estructura de poros del hormigón, está dado por la siguiente expresión:

$$x = k * \sqrt{t}$$

Donde  $x$  es la profundidad de penetración de  $\text{CO}_2$  (mm),  $k$  es la velocidad de avance de  $\text{CO}_2$ , ( $\text{mm/año}^{1/2}$ ), y  $t$  es el tiempo en años. El valor de  $k$ , se puede determinar si se conoce el espesor de la capa carbonatada y la edad de la estructura.

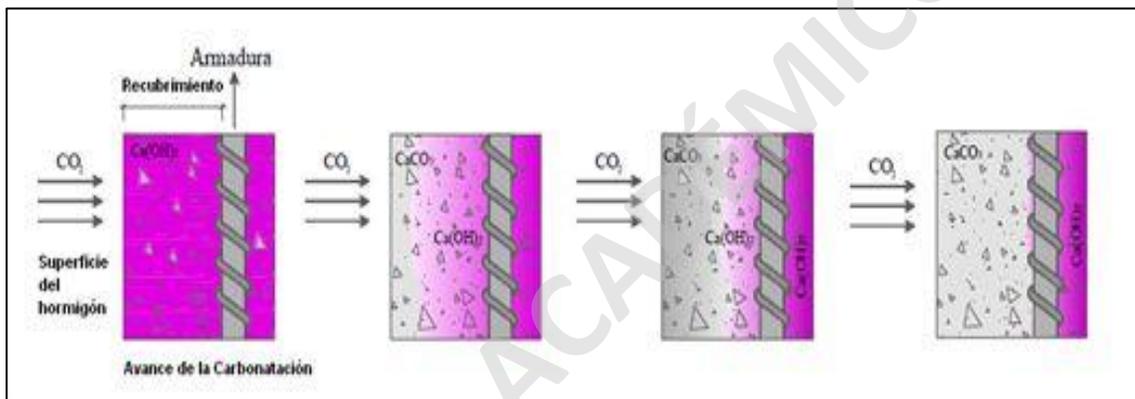


Figura N° 7.- Avance de la carbonatación y alteración del pH.

### 8.4. Acción conjunta de la penetración de cloruros y la carbonatación del hormigón

Aunque el factor principal generador de corrosión en ambiente marino, es la acción de cloruros, el contenido de  $\text{CO}_2$  en el ambiente influye en el deterioro del hormigón aunque en una magnitud menor y de manera más lenta.

En un hormigón carbonatado, los contenidos de cloruros presentan niveles mayores que en un hormigón no carbonatado, aumentando las posibilidades de que se inicie corrosión dado a la disminución del pH alcalino, siendo una de las causas que provoca la despasivación del acero de refuerzo.

## **CAPÍTULO IX: PATOLOGÍAS DEL HORMIGÓN ARMADO SOMETIDO A CLIMAS COSTEROS.**

### **9.1. Definición de Patología en el ámbito de la construcción**

La palabra Patología, proviene de los términos “pathos”, que se define como afección o enfermedad, y “logos” definida como estudio o tratamiento.

La adaptación de este vocablo al ámbito de la construcción, se definiría como el estudio de los procesos degenerativos, síntomas o lesiones que alteran la calidad de los materiales y elementos constructivos, que se presentan después de su ejecución y a lo largo de su vida útil.

Considerando que todo material constructivo puede presentar lesiones o fallas durante su vida útil, las que pueden afectar su funcionamiento, se hace imprescindible diseñar productos de alta calidad, reduciendo los factores que puedan ocasionar daños que afecten el uso para la que fueron creadas.

Es así como, la aparición de lesiones en una edificación ya sea por deficiencias durante el proceso constructivo, o la influencia de agentes externos, tiene como consecuencia, la necesidad de incurrir en un análisis que permita identificar las patologías que afectan a las edificaciones, como además proponer técnicas que permitan su rehabilitación.

En los capítulos siguientes, se desarrollará una descripción de las patologías que afectan a las estructuras de hormigón armado, que se encuentran expuestas a climas costeros, en ambiente de exposición aérea, técnicas de detección, sistemas de prevención, control, y tratamiento de estas estructuras, a fin de garantizar su capacidad estructural y prolongar su vida útil.

### **9.2. Sintomatología en estructuras de hormigón armado en climas costeros**

Como se indicó en los capítulos anteriores, las principales causas que influyen en la aparición de síntomas en estructuras que se encuentran expuestas a climas costeros, es principalmente el ataque de cloruros, y en condiciones de exposición especiales el proceso de carbonatación.

Estos fenómenos desencadenan efectos que deterioran la estructura por la acción de la corrosión del acero de refuerzo, generando síntomas que repercuten en un deterioro prematuro de la estructura, por ejemplo:

- En su estética.
- En la funcionalidad.
- En la seguridad.

### 9.2.1. Síntoma

“Como síntoma, entendemos aquellas evidencias u otro tipo de indicios reveladores de una lesión, y que pueden aparecer en la propia estructura o bien en otros elementos constructivos (o en ambos)” (Manual de patología de la edificación, Tomo 2, Ventura R. y otros, Madrid 2004).

### 9.2.2. Lesión

“Como lesión, entendemos aquellos daños provocados por causas físicas o químicas que se concretan en deformaciones o alteraciones en los materiales, y que pueden afectar a las prestaciones de la propia estructura (a la totalidad o parte de ella), o a otros elementos constructivos” (Manual de patología de la edificación, Tomo 2, Ventura R. y otros, Madrid 2004)

### 9.3. Efectos derivados de la corrosión

Una vez desencadenado el fenómeno de corrosión, esta se manifiesta en la estructura de tres formas.

- Sobre el hormigón, producto de la acumulación de óxidos expansivos, en la aparición de fisuras, desprendimiento y disgregación del hormigón
- Sobre el acero de refuerzo, su acción genera una disminución de su diámetro inicial, y aumento de volumen, lo que afecta su capacidad mecánica.
- Pérdida de adherencia acero de refuerzo/hormigón.

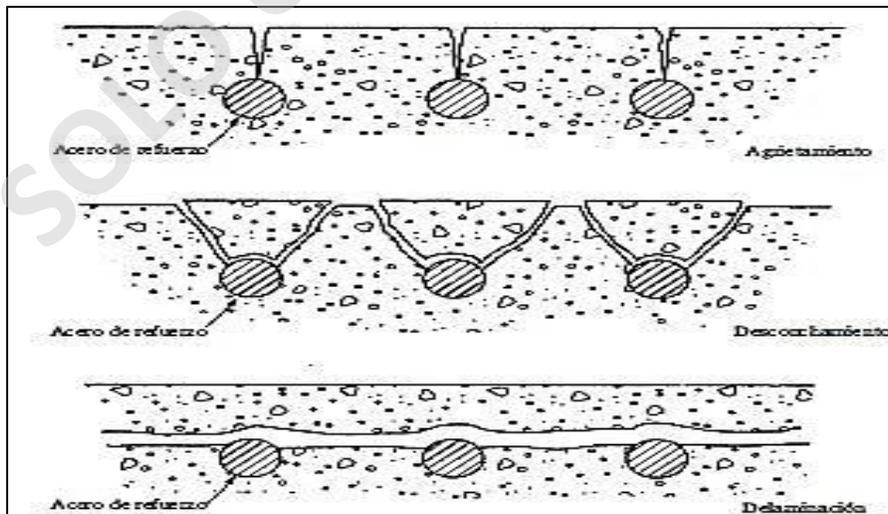


Figura N° 8.- Representación de daños por corrosión en el hormigón

### **9.3.1. Fisuración del hormigón**

La aparición de fisuras en la superficie del hormigón, es la primera manifestación del proceso de corrosión de la armadura de refuerzo, esto debido al aumento de volumen del acero al oxidarse, proceso que al continuar, facilita el ingreso de agentes agresivos al interior.

Las fisuras reducen la distancia frente al ataque de agentes agresivos externos y aumenta la formación de pilas de concentración de óxido, ya que a través de ellas la penetración de cloruros, oxígeno y humedad se hace más rápida, alcanzando la superficie del acero en órdenes de magnitud acelerada, a diferencia de un hormigón no fisurado. Este efecto se acelerará aún más si la fisura es ancha.

Dado que las fisuras en el hormigón pueden afectar su durabilidad al permitir el ingreso de agentes agresivos, se consideran síntomas patológicos de importancia, sin embargo es normal que este material presente fisuras, las que de todos modos deben evitarse. Es así como desde el punto de vista estructural, las fisuras se pueden clasificar como no estructurales y estructurales.

Las primeras no serán relevantes en el comportamiento estructural, como tampoco tendrán influencia en la resistencia del material.

Las segundas producidas en el hormigón endurecido, no deberían presentarse ya que constituyen factor de riesgo, para la integridad de la estructura, y su incapacidad de soportar cargas, pudiendo generar deformaciones excesivas.

### **9.3.2. Tipos de fisuras**

Se pueden distinguir dos tipos de fisuras y su influencia en la armadura de refuerzo, está dada por su ubicación respecto a la armadura, pudiendo distinguirse las siguientes:

- Fisuras Longitudinales a la armadura.
- Fisuras Transversales a la armadura.

Las fisuras que recorren longitudinalmente la barra de refuerzo, son potencialmente más dañinas, ya que la zona expuesta o susceptible a la corrosión es mayor, favoreciendo el inicio de la corrosión siendo más perjudiciales para la carbonatación y la corrosión generalizada.

Las fisuras transversales a la barra, resultan ser más desfavorables para el ataque por cloruros, debido al pequeño tamaño de la zona anódica, (la que sufre la corrosión) produciéndose corrosión localizada en la barra afectada, generando pérdida de sección en ella, aunque en la zona adyacente la barra se puede encontrar en buenas condiciones.

### **9.3.3. Ancho y profundidad de las fisuras**

Dependiendo de o las causas que generen el esfuerzo de tracción serán los anchos que se presentan, por ejemplo, las originadas por retracciones plásticas durante el proceso de construcción corresponden a fisuras de tipo superficial, distinto comportamiento tienen las formadas por la retracción hidráulica, que cortan totalmente el elemento estructural.

Por otra parte, las que se han producido por el fenómeno de oxidación en un inicio son finas, pero con el avance del proceso de corrosión aumentan su ancho producto del aumento de espesor del fenómeno corrosivo en las barras de acero.

### **9.3.4. Disgregación y desprendimiento del hormigón**

Posterior al proceso del agrietamiento, producto del avance del proceso de corrosión, se debe esperar el problema del delaminado superficial del hormigón, generando una mayor superficie expuesta a la penetración de iones cloro.

Así se puede decir que este proceso supone la pérdida del equilibrio local del hormigón, por trozos que se separan del conjunto, esta reacción en respuesta a la corrosión del acero, se transforma en un factor de riesgo para la armadura de refuerzo que pueda encontrarse sana, ya que mientras más desprendimiento y disgregaciones presente el recubrimiento de hormigón, expone al ambiente la estructura interior, facilitando el desarrollo de la corrosión y el deterioro de la misma.

### **9.3.5. Disminución de diámetro inicial y expansión del acero de refuerzo**

La acción de cloruros, y su influencia en el acero de refuerzo genera a través del tiempo la pérdida de diámetro o sección de las barras de refuerzo, afectando con esto su capacidad de las estructuras de soportar cargas.

Si la pérdida de sección del acero es menor al 15% de su diámetro inicial, no será necesario aumentar la capacidad nominal, ya que en esa magnitud no hay riesgo de problemas estructurales. Sobre ese porcentaje se requerirá de un análisis, para restaurar la capacidad inicial del acero, o la inclusión de refuerzos en la estructura.

La carbonatación del hormigón y su avance hasta la armadura, genera en ellas corrosión generalizada y aumento de su volumen, esto impacta en el hormigón de recubrimiento, generando fisuras, disgregaciones y desprendimientos de hormigón de recubrimiento.

### 9.3.6. Pérdida de adherencia

La pérdida de adherencia, está relacionada con la magnitud de corrosión de la armadura de refuerzo, en casos donde la armadura presenta un nivel medio de corrosión (alrededor el 4%), no se ve afectada la adherencia con el hormigón. Sin embargo el aumento por sobre este factor genera una pérdida sustancial en la adherencia, dando origen a deformaciones en las barras de acero.

### 9.4. Predicción de la vida útil

Se puede definir como vida útil de una estructura, el período de tiempo en el cual la estructura mantiene inalterable sus características funcionales, su resistencia y aspecto, que asegure un nivel de seguridad apropiado.

El modelo de vida útil propuesto por Tuutti, y que se muestra en la Figura 9, es el más habitual para predecir la durabilidad de una estructura de hormigón armado. En el tiempo está representado en el tiempo y el grado de deterioro.

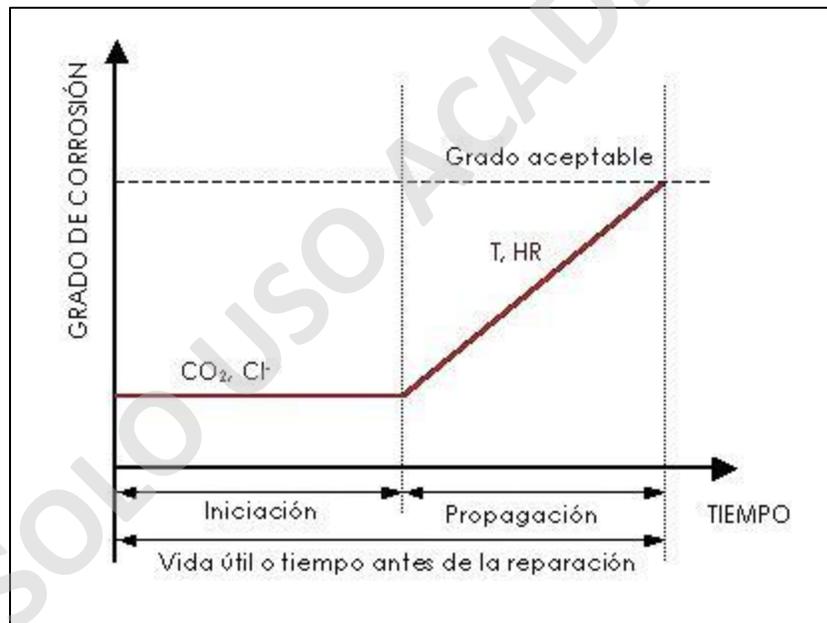


Figura N° 9.- Modelo de vida útil de Tuutti.

En la Figura 7, se puede identificar el “período de iniciación” y el “período de propagación”, el primero se describe como el tiempo en que demora el agente agresivo en penetrar el recubrimiento hasta alcanzar la armadura de refuerzo y causar el efecto de repasivización, el segundo, es el tiempo de acumulación progresiva del deterioro, hasta alcanzar niveles no aceptables de la estructura.

## **CAPÍTULO X: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN**

### **10.1. Aspectos generales**

Garantizar la durabilidad del hormigón armado en ambiente marino, supone fundamentalmente reducir la velocidad de difusión de cloruros en el hormigón previniendo la corrosión de la armadura de refuerzo.

Por lo tanto, es necesario evaluar sistemas y métodos complementarios que permitan extender la vida útil de las estructuras, protegiéndolas ante la acción del medio al cual se encuentran expuestas.

Acciones importantes a tener en cuenta son las siguientes:

- Diseño y ejecución.
- Adiciones en la elaboración del hormigón.
- Protección de la armadura.

### **10.2. Diseño y ejecución**

En la etapa de diseño se debe considerar la condición ambiental a la cual estará expuesta la estructura, definiendo claramente los requisitos tanto para la selección de materiales como para el desarrollo del proceso constructivo, procurando la correcta elaboración del hormigón respecto a su dosificación y resistencia esperada, una adecuada colocación de las armaduras, y procesos de control durante la ejecución.

Lo que se busca es optimizar la protección que proporciona el hormigón a la armadura en su interior, y que está determinado por las características del recubrimiento y la impermeabilidad del hormigón.

El método más habitual, es la reducción de la relación agua/cemento en la elaboración de la mezcla, además, la incorporación de adiciones pueden reducir aún más la permeabilidad.

Otro aspecto importante durante la ejecución es el proceso de curado, cuanto mayor sea el período de curado del hormigón antes de estar expuesto al medio, mejor será su comportamiento y resistencia a la penetración de agentes agresivos del medio ambiente.

Según lo anterior, cuidar los detalles y las buenas prácticas constructivas, son aspectos fundamentales que permiten garantizar la calidad y durabilidad de la estructura entregada y puesta en servicio.

### **10.3. Adiciones en la elaboración del hormigón**

La incorporación de ciertas adiciones para la elaboración del hormigón, son una alternativa que permite aumentar la resistencia y durabilidad mediante la modificación de las características originales de la mezcla, mejorando el desempeño del hormigón y su resistencia a agentes agresivos, como es la exposición permanente de las estructuras al ambiente marino.

Las adiciones más empleadas y que favorecen la resistencia del hormigón ante la acción del medio ambiente son:

#### **10.3.1. Humo de sílice**

Actúa como sello de los poros del hormigón, dando como resultado un hormigón con baja permeabilidad, su efectividad se debe al descenso de la absorción de agua acelerando el proceso de hidratación del hormigón en las primeras horas, mejorando los resultados en cuanto a la resistencia a la corrosión.

#### **10.3.2. Ceniza volante**

Tiene efectos en las propiedades durables y mecánicas del hormigón si se emplean adecuadamente, y siempre que la relación agua/cemento se mantenga bajo de 0,5, mejorando el desempeño ante el ataque de cloruros a causa de la disminución de la permeabilidad del hormigón.

### **10.4. Protección de la armadura**

Los sistemas de protección de la armadura pueden ser directos o indirectos, y se describen a continuación:

#### **10.4.1. Protección directa de la armadura**

**a) Recubrimientos por medio de galvanización:** Considera la incorporación de barras de acero con un baño de zinc fundido cerca de 450°, formando una capa de zinc-hierro, reduciendo la velocidad de corrosión respecto al acero no galvanizado.

Las ventajas del uso de armaduras galvanizadas en casos de condiciones ambientales agresivas, se pueden resumir, entre otras, como sigue:

- Mayor resistencia al ataque por cloruros en el ambiente.
- Reducción de fisuras y grietas en la superficie del hormigón.
- Mejor comportamiento del hormigón armado en ambientes agresivos.

**b) Recubrimientos epóxicos:** La aplicación de revestimientos epóxicos en las barras de acero, generan una película que actúa como barrera protectora ante cualquier posible imperfección o deterioro en la superficie del hormigón.

Su aplicación puede actuar favorablemente en la protección del acero de refuerzo dado el contenido de inhibidores de corrosión.

Se sugiere como medida preventiva para barras de sección delgada, con un bajo espesor de recubrimiento y expuestas a ambientes agresivos.

### **10.5. Protección catódica de la armadura**

Por su alto costo y por la necesidad de garantizar una prolongada vida útil, la decisión para implementar éste sistema de protección debe considerar aspectos que justifiquen su uso, por ejemplo, en la construcción de infraestructura portuaria.

El sistema se puede llevar a cabo mediante dos métodos:

#### **10.5.1. Ánodos de sacrificio**

La introducción de ánodos de sacrificio en la estructura, normalmente Zinc (Zn), Magnesio (Mg) y Aluminio (Al), proporciona la corriente necesaria y garantiza la distribución de la misma en la totalidad de la armadura a proteger.

Este método es permanente, por lo que los ánodos deben ser durables en el tiempo, por lo que no se deberá añadir sobre ellos cargas importantes, además respecto a su colocación y ubicación, no deberán generar cambios en la estética del elemento o estructura.

#### **10.5.2. Corriente impresa**

Procedimiento que consiste en unir eléctricamente la estructura, con el polo negativo de una fuente externa que suministra corriente continua de bajo voltaje y el polo positivo con un electrodo auxiliar localizado a cierta distancia de la estructura a proteger que cierra el circuito.

## 10.6. Protección indirecta de la armadura

Sistema de protección de la armadura a través del hormigón:

- Inhibidores de corrosión.

Los aditivos inhibidores de la corrosión, son agregados que añadidos al agua de amasado, mantienen la pasividad del acero embebido en el hormigón, protegiéndolo de la acción de agentes agresivos.

En estructuras ya construidas, su aplicación se lleva a cabo directamente sobre la superficie del hormigón, penetrando hacia el interior por difusión a través de la red de poros alcanzando la armadura, formando una capa que impide la penetración de cloruros, desplazando los que puedan estar presentes en la superficie del acero, y en consecuencia, una reducción importante de la corrosión.

Si bien la acción de los inhibidores no es una solución definitiva, contribuyen en retrasar el proceso de corrosión.

SOLO USO ACADÉMICO

## **CAPÍTULO XI: DETECCIÓN DE SÍNTOMAS EN LA ESTRUCTURA**

### **11.1. Aspectos generales**

La evaluación de estructuras dañadas, tiene por objeto detectar la condición, el nivel de deterioro y la severidad de los daños de la estructura, sean producto de la degradación natural de los materiales, incertidumbre en su proceso constructivo, incrementos de carga de uso o procesos degenerativos por exposición a ambientes agresivos, que alteren su estado de servicio.

Los síntomas causantes de la aparición de patologías en las estructuras de hormigón armado, son variados y en algunos casos, una inspección visual permitirá determinar la causa del deterioro, sin embargo, en ocasiones, será necesario profundizar en el análisis mediante una revisión del proyecto, extracción de testigos, y procedimientos de ensayo.

Las circunstancias que hacen necesario la elaboración de una investigación del estado de conservación pueden ser las siguientes:

- Antigüedad de la estructura.
- Incremento de cargas a causa de modificaciones de diseño.
- Síntomas de lesiones a causa de exposiciones límites.
- Desprotección ante condiciones del entorno.

En todos los casos, el estudio proporcionará datos importantes que permitan conocer el estado de conservación de las estructuras, las posibles causas que generaron las lesiones, y como afectan su comportamiento.

A su vez, un adecuado análisis, permitirá proponer técnicas de reparación efectivas y durables en el tiempo.

### **11.2. Evaluación preliminar**

El proceso de inspección de todo tipo de estructura, debe considerar etapas y un programa de trabajo o metodología, que permita una completa evaluación de la condición de la estructura.

Una adecuada planificación y claridad en los objetivos que se persiguen en este proceso, dará como resultado la elaboración de un diagnóstico correcto y las gestiones necesarias para el desarrollo de una intervención exitosa.

Este proceso debe considerar al menos las siguientes etapas:

- Recopilación de datos.
- Inspección visual de la estructura.
- Registro fotográfico.
- Realización de ensayos y pruebas.

### **11.3. Recopilación de datos**

Anterior a cualquier proceso de inspección de una estructura, es necesario recoger toda la información necesaria, que permita el reconocimiento de la estructura a diagnosticar, para esto se deberá contar al menos con lo siguiente:

- Planimetría original.
- Especificaciones técnicas.
- Planos y memoria de cálculo.
- Modificaciones de proyecto.
- Inspecciones anteriores.

### **11.4. Inspección visual de la estructura**

Este proceso consiste en un reconocimiento inicial de la estructura, que permite detectar la presencia de síntomas o lesiones que den cuenta de la existencia de daños, y su magnitud en función de la estabilidad de la estructura.

A su vez, la inspección visual debe considerar la descripción de los elementos de la estructura analizados, su ubicación, características del deterioro, además de un completo registro fotográfico.

En concreto, el proceso de inspección visual permitirá recoger datos, reconocer síntomas, diseñar un plan de acción coherente con la magnitud del daño, y las características de las intervenciones tendientes a la reparación o rehabilitación de la estructura

Considerando lo anterior, los objetivos principales de esta etapa son:

- Realizar una primera evaluación de la situación de la estructura.
- Localizar deformaciones en la estructura.
- Detectar fisuras o grietas en elementos estructurales.
- Detectar cambios en el aspecto superficial del hormigón.
- Determinar si es necesario profundizar en aspectos relativos a análisis puntuales.
- Planificación de ensayos específicos de ser necesario.

## 11.5. Realización de ensayos y pruebas

En el caso que los datos recogidos durante la inspección visual no sean suficientes para determinar la magnitud del deterioro.

En una estructura de hormigón armado, expuesta a ambientes agresivos que promuevan la corrosión del acero, puede no haber signos externos que indiquen que este proceso se ha desarrollado, por lo se deberán realizar ensayos que permitan profundizar en el análisis de la estructura.

En el caso de querer determinar o cuantificar la penetración de carbonatación en el hormigón, la aplicación de una solución de fenolftaleína permite determinar las variaciones de pH del hormigón, permitiendo conocer su grado y profundidad de carbonatación.

El análisis se puede realizar de dos maneras:

- a) Mediante la extracción de testigos, y luego de haberlo sometido a compresión con objeto de partir la probeta, aplicar la solución en la zona fracturada.
- b) Mediante la perforación en alguna zona de la estructura, a una profundidad tal que exponga las barras de refuerzo, para luego pulverizar la solución de fenolftaleína y posteriormente midiendo el avance de carbonatación al interior de la perforación.

La coloración o la falta de coloración, indicará la condición del hormigón y la magnitud carbonatación hacia el interior.

En el caso de la acción de cloruros, determinar la magnitud del deterioro de la armadura de refuerzo, se podrá realizar de la siguiente manera:

- a) Mediante inspección visual de la armadura de refuerzo, observando si ésta presenta tramos cortos de corrosión o corrosión localizada, y disminución de sección respecto a su diámetro inicial.
- b) Mediante la disolución de una muestra de hormigón, para esto se pulverizará el testigo de hormigón, transformándolo en polvo que pase un tamiz N° 20.

Realizada la molienda y obtenido el polvo de hormigón, mediante el uso de reactivos, por ejemplo, ácido oxidante, (ácido nítrico), en donde una cantidad determinada del polvo obtenido de la molienda del testigo de hormigón, se añade este reactivo en razón 1:1 y mediante procesos de filtrado se puede obtener la concentración de cloruros en %, respecto al peso del testigo en polvo analizado.

c) Mediante el uso de sensores electroquímicos embebidos en el hormigón, estos sensores consisten en electrodos de Ag (Plata), o AgCl (Cloruro de plata), que son selectivos al ion cloro.

No se considera una descripción extensa de los métodos descritos en b) y c), solo refiriéndose a ellos de manera resumida y sin un análisis profundo respecto al procedimiento y a la obtención de los resultados finales, ya que para ello se requiere de datos específicos y modelos matemáticos que no fueron contemplados para el desarrollo de la investigación.

Para el caso de estudio, Cine Diana, la metodología empleada que permitiera identificar la acción de cloruros en el acero de refuerzo, se realizó mediante inspección visual y mediciones puntuales de reducción de sección en las barras de acero.

SOLO USO ACADÉMICO

## CAPÍTULO XII: INTERVENCIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### 12.1. Aspectos generales

La realización de gestiones de intervención en estructuras de hormigón dañadas por efecto de la corrosión de la armadura, tiene como primer principio preservar o restaurar la pasividad del acero de refuerzo, sin embargo en ocasiones, la magnitud de los daños obliga a realizar acciones de reparación o rehabilitación importantes, con el objetivo de garantizar la durabilidad y vida útil de las estructuras.

### 12.2. Evaluación de la intervención

Los datos recogidos durante el proceso de inspección, permitirá realizar un plan de acción para la intervención y tratamiento de recuperación de las estructuras deterioradas.

Para evaluar la intervención se deberá considerar:

- El tipo de estructura a intervenir.
- Condiciones de seguridad.
- Su estado de avance y predicción de durabilidad.
- Gestiones de tratamiento, reparación o rehabilitación.
- Reemplazo de elementos.
- Demolición de estructuras.
- Modelo de costos asociado al proceso.

### 12.3. Tratamiento de estructuras de hormigón armado dañado

Una vez evaluada la estructura se puede determinar un procedimiento de acuerdo a los síntomas y patologías detectadas.

Considerando lo anterior, se puede optar por las siguientes acciones:

**a) Reparación:** La reparación de una estructura, supone una solución temporal, sin el desarrollo de un diagnóstico la causa del deterioro, se enfoca en extender la vida útil de la estructura.

**b) Rehabilitación:** Este proceso considera un análisis profundo de la condición de la estructura, debiendo efectuar acciones que permitan detectar la causa que generó el deterioro, por lo que suele requerir una inversión mayor, respecto a la reparación, debiendo considerarse gestiones de aumento en la cuantía de acero o el diseño de un recrecido del hormigón.

Cualquiera sea el método, técnica o procedimiento seleccionado para la intervención, la primera acción a realizar es una planificación rigurosa de los procesos, que incluya la intervención de especialistas y la evaluación de las posibles dificultades o riesgos que se puedan presentar en el proceso de recuperación de la estructura.

Es así como antes de realizar las obras de reparación, se deberá evaluar la necesidad de incorporar elementos que permitan mantener la estabilidad de la estructura y de cada elemento, mediante apuntalamiento y/o soportes temporales, que garanticen condiciones de seguridad durante el desarrollo de la intervención.

Las acciones iniciales de la estructura a intervenir, deberán considerar un proceso preliminar de preparación de la superficie a reparar.

- Saneado.
- Limpieza.

El saneado consiste en el retiro de los elementos que se encuentren sueltos o con poca adherencia. Determinar la capa retirar dependerá de los análisis previos realizados, relacionados con el método de tratamiento escogido.

La limpieza se entiende como el proceso de eliminación de suciedad y polvo en las paredes del hormigón, y en el acero, la eliminación del óxido presente, además del retiro de sustancias ajenas a sus características originales.

Realizado este proceso preliminar en la estructura, se podrá determinar el procedimiento a seguir según el deterioro observado.

Algunas intervenciones a considerar se describen a continuación:

- Tratamiento superficial del hormigón.
- Tratamiento de nidos de piedra o cavidades.
- Recrecido de hormigón.
- Tratamiento de fisuras.
- Reemplazo del hormigón deteriorado.
- Refuerzos y reemplazo de armadura deteriorada.

Todas las intervenciones que apunten a la reparación, rehabilitación o restauración de estructuras, deben considerar siempre un análisis profundo del proceso y su metodología, que permita la obtención de una solución efectiva y permanente en el tiempo.

## 12.4. Tratamiento superficial del hormigón

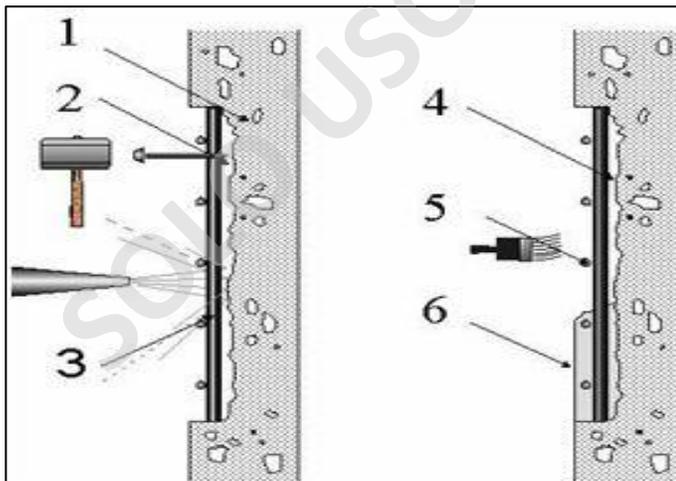
El sistema de tratamiento superficial se entiende como una solución generalmente estética, que permita igualar texturas, geometría, impermeabilizar o sellar porosidades menores, estas intervenciones tienen mejor resultado en superficies que están sujetas a poco desgaste.

Los tratamientos superficiales del hormigón deben considerar la verificación de la existencia de fisuras o grietas y su potencial de movimiento en la superficie del hormigón.

El mortero para la reparación debe ser aplicado sobre la superficie previamente tratada, libre de todo material suelto procurando que los bordes de la reparación sean rectos, previa aplicación de un puente adherente, como película de unión entre la superficie y el mortero de reparación, además el mortero de reparación debe ser dosificado y diseñado específicamente para esta aplicación, teniendo en cuenta su resistencia mecánica respecto a la relevancia del daño.

Su aplicación sobre la superficie se realizará mediante capas, de espesores máximos que impidan el deslizamiento del material y su correcto fraguado.

La primera capa se debe presionar manualmente contra la superficie, procurando una compactación adecuada, la última capa deberá ser aplicada mediante platocho para dar una terminación adecuada.



- 1.-Hormigón.
- 2.-Picado de superficie.
- 3.-Fondo horizontal.
- 4.-Puente de adherencia.
- 5.-Mortero de reparación.

Figura N° 10.- Reparación superficial en muros.

## 12.5. Tratamiento de nidos de piedra o cavidades

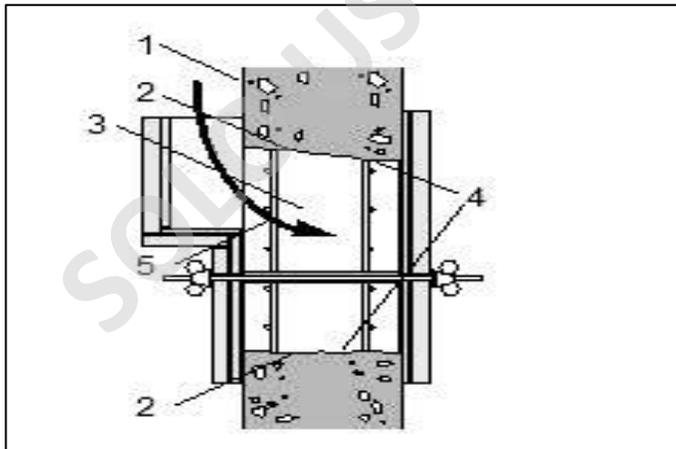
El tratamiento para corrección de nidos de piedra o cavidades, se utiliza para reparaciones localizadas y de bajo volumen.

El procedimiento, debe considerar el saneado y limpieza del elemento a tratar, retirando todo material suelto o dañado, hasta obtener una superficie limpia, e procurando dar una forma geométrica adecuada para la facilitar la colocación de la capa de recubrimiento, en el caso de presencia de acero de refuerzo, este debe limpiarse adecuadamente incorporando de ser necesario algún producto inhibidor de corrosión.

El mortero de reparación debe ser diseñado específicamente para esta aplicación, procurando una rigurosa dosificación y la obtención de una buena resistencia mecánica, se deberá considerar además un puente de adherencia como película de unión entre la superficie y el mortero de reparación.

La aplicación del mortero de reparación debe realizarse por capas de espesores máximos definidos de acuerdo a la magnitud de la intervención, para evitar deslizamientos de material. La primera capa de mortero se compactará manualmente contra la superficie, asegurando la correcta penetración del material a fin de evitar inclusión de aire atrapado, las capas siguientes se terminaran con platacho para dar una correcta terminación.

Para esta técnica no se requieren equipos especiales, sin embargo se sugiere un sistema revolvedor automatizado, que asegure una mezcla homogénea.



- 1.-Muro hormigón.
- 2.-Corte en muro.
- 3.-hormigón de relleno.
- 4.-Puente de adherencia.
- 5.-Colocación de hormigón.

Figura N° 11.- Reparación de nidos en el hormigón.

## 12.6. Recrecido de hormigón

Puede emplearse como método de reparación o rehabilitación, y consiste en la colocación de capas de hormigón sano, sobre la superficie del hormigón que no se haya deteriorado como consecuencia de la corrosión de las barras de refuerzo.

El de recrecido con hormigón sano busca reducir la permeabilidad y aumentar el espesor del recubrimiento, generando una mayor distancia de penetración y difusión de cloruros o  $\text{CO}_2$  hasta que alcancen la armadura.

Este proceso puede realizarse manualmente, o mediante hormigón o mortero proyectado colocado mediante lanzamiento a alta presión sobre la superficie a cubrir, siendo capaz de autosoportarse, si escurrir ni desprenderse en cualquier posición que sea aplicado.

Puede ser aplicado mediante vía seca o húmeda, dependiendo del volumen de material requerido, incorporando a la mezcla fibras o polímeros con la finalidad de disminuir el rebote, y la fisuración por retracción plástica.

Algunas consideraciones son, el aumento de cargas que soporta la estructura, y la posible falta de adherencia entre capas, o fisuración de la capa instalada.

En relación a la falta de adherencia, en el mercado existen productos desde los promotores de adherencia hasta los sistemas epóxicos que permiten resolver esta posible deficiencia.

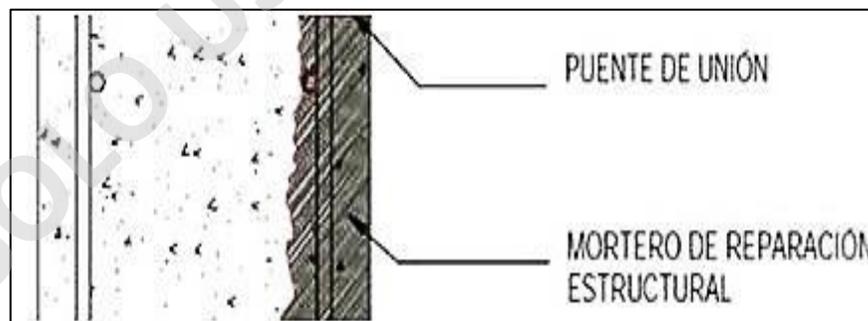


Figura N° 12.- Recrecido de hormigón

## 12.7. Tratamiento de fisuras y grietas

La aparición de fisuras y grietas en el hormigón, se debe al aumento de volumen de la armadura corroída, en casos de fisuras superficiales, el relleno o inyección de morteros a base de resinas, es un procedimiento afectivo previa evaluación de que la penetración de agentes agresivos no ha alcanzado la armadura de refuerzo y el proceso de corrosión no se ha iniciado, situación que obligará a la evaluación de la armadura y acciones para su recuperación o reemplazo.

### 12.7.1. Inyección de resinas

Están orientadas para recuperar las características monolíticas de las estructuras, esta técnica permite adherir fisuras en cualquier posición, que no presenten movimiento y de un ancho máximo de 0,05mm.

Del ancho de la fisura, dependerá la resina que se deba inyectar, además el proceso requiere un alto grado de calidad y capacitación, la técnica está condicionada a la temperatura ambiente.

Los materiales sugeridos para esta intervención son los siguientes:

- **Resina epoxi:**  
Alta resistencia mecánica.  
Alta resistencia química.  
Alta resistencia a la abrasión.  
Buena adherencia al acero y hormigón.
- **Resina de poliuretano:**  
Buena resistencia mecánica.  
Baja resistencia a los ácidos y álcalis.
- **Resina acrílica:**  
Baja adherencia al acero.  
Baja resistencia a los álcalis.

El proceso para la reparación, deberá considerar una metodología que garantice un buen resultado, debiendo realizar acciones previas que permitan la adherencia adecuada del producto a aplicar, las que se indican a continuación:

a) **Limpieza de las fisuras:** Se debe eliminar tanto como sea posible elementos contaminantes que puedan afectar la penetración y adherencia del producto. Esta limpieza se puede realizar por aspirado o inyección de agua.

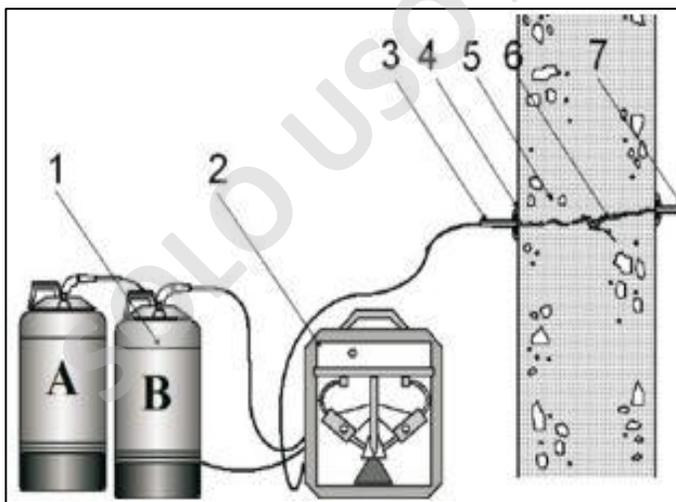
b) **Sellado de la superficie:** Procedimiento que apunta a evitar que el material epóxico salga por las fisuras antes de endurecerse. Para esto se puede utilizar materiales termoplásticos, resinas y en el caso de una inyección baja presión, puede ser suficiente el uso de una cinta adhesiva.

c) **Bocas de entrada:** Consiste en la instalación de “válvulas”, a distancias regulares entre 15 y 30 cm, sobre la fisura, la abertura en la parte externa de la válvula permitirá el ingreso del material epóxico y servirá de control para tal efecto.

d) **Inyección de resinas:** el proceso debe controlarse cuidadosamente, verificando según el método de inyección, la presión de colocación ya que una presión demasiado alta puede propagar la fisura, el procedimiento deberá realizarse de manera continua en cada fisura, controlando el desplazamiento a través de toda la grieta.

Para esta técnica se pueden utilizar los siguientes métodos:

- Mediante equipo manual.
- Mediante equipo neumático.
- Mediante equipos de mezcla en punta.



- 1.-Contenedor de adhesivos.
- 2.-Maquina de mezcla
- 3.-Boquilla de entrada.
- 4.-Sellado superficial.
- 5.-Muro hormigón.
- 6.-Fisura o grieta.
- 7.-Boquilla de control.

Figura N° 13.-Sellado de fisuras mediante inyección por presión.

### **12.7.2. Inyección de lechada o morteros de cemento**

Este método se utiliza para la reparación de fisuras o grietas de espesor mayor o igual a 1,5mm. La calidad de la mezcla debe ser de alta fluidez y consistencia, y debe tener alta adherencia con la superficie a tratar.

El procedimiento de reparación, deberá considerar la preparación de la superficie, retirando todo elemento que impida la correcta adherencia del sello, retirando estucos que estén “soplados”, dejando la superficie limpia, libre de polvo y partículas sueltas.

Terminado el proceso de preparación de la superficie, se fijarán las boquillas de entrada de inyección, las cuales se instalarán a una separación aproximada al espesor del elemento, y teniendo en consideración el espesor de la grieta.

Al momento de la inyección, la superficie debe encontrarse en condición saturada, procedimiento que se realizará inyectando agua a través de las boquillas y mantenerla saturada superficialmente seca por al menos 12 horas, evitando con esto la pérdida de agua de hidratación de la lechada o mortero de cemento.

Se podrán emplear dos tipos de mezclas, predosificada o preparada en terreno, y se puede considerar el uso de aditivos que permitan aumentar la resistencia, disminuir las retracciones, o aumentar la adherencia, como por ejemplo.

- Reductores de agua.
- Aditivos para mejorar la adhesión.
- Aditivos expansores.

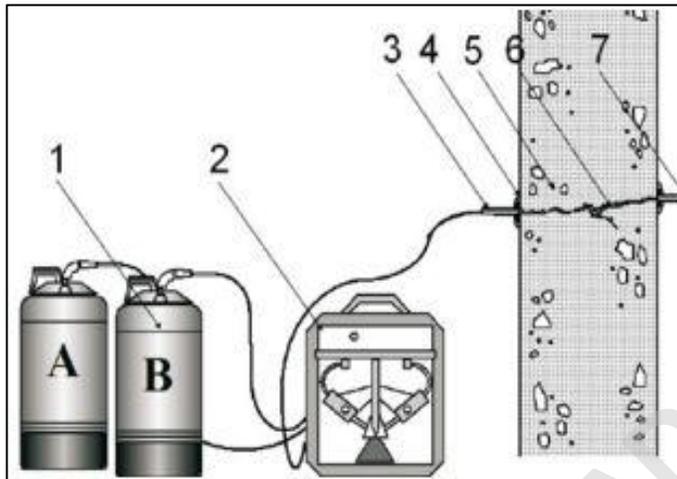
El proceso de inyección se realizará de manera continua y en un solo acto, iniciando en la boquilla inferior, una vez que la mezcla aflora en la boquilla siguiente esta se obtura.

Se continúa el proceso hasta completar la inyección en todas las boquillas, controlando el desplazamiento a través de toda la grieta.

Para el caso en donde no se pueda acceder a la cara posterior del elemento, se debe inyectar determinando anteriormente el volumen teórico de la mezcla necesaria para asegurar el llenado correcto de la grieta en todo su desarrollo.

Para ésta técnica los equipos considerados deben incluir:

- Mezcladora.
- Bomba de inyección de pistón.
- Regulador de presión de inyección.



- 1.-Contenedor de lechada.
- 2.-Maquina de mezcla.
- 3.-Boquilla de entrada.
- 4.-Sellado superficial.
- 5.-Muro hormigón.
- 6.-Fisura o grieta.
- 7.-Boquilla de control.

Figura N° 14.- Inyección de lechada.

### 12.7.3. Costura de las fisuras

Otra alternativa de intervención es la costura de fisuras, procedimiento que consiste en la colocación de elementos metálicos en forma de U, denominadas grapas. Este sistema de reparación se utiliza cuando se desea restaurar resistencia a la tracción del hormigón y en fisuras importantes.

El procedimiento para este sistema de reparación es el siguiente:

- Perforar orificios a ambos lados de la fisura.
- Limpiar las perforaciones.
- Anclar las patas de las grapas mediante mortero o sistema adhesivo epoxi.

El procedimiento deberá considerar tanto la profundidad como el diámetro de las perforaciones, y que dependen de la carga y el tipo de acero a utilizar.

Las perforaciones realizadas deben limpiarse cuidadosamente con aire comprimido, y las barras deben estar exentas de grasa, oxido o cualquier material que dificulte la adherencia.

Preparada la superficie, se aplicará un adhesivo epóxico, cuidando que penetre completamente en la profundidad de las perforaciones, una vez aplicado el producto se introducirán las barras asegurando la liberación de aire en el interior, y verificar que el adhesivo rebalse la perforación, señal de que el relleno ha sido completo.

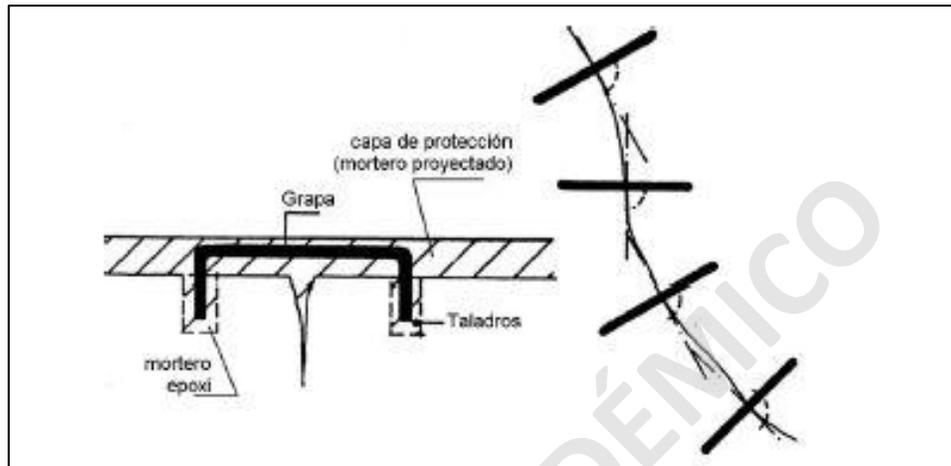


Figura N° 15.-Reparación con grapas.

### 12.8. Reemplazo del hormigón deteriorado

En casos donde se compruebe el proceso de corrosión de las armaduras se haya desarrollado de refuerzo, el correcto análisis del grado y magnitud del deterioro, sea por cloruros o carbonatación, es fundamental para que el proceso de reparación del elemento dañado sea eficiente.

Como consecuencia de la corrosión de la armadura, el hormigón puede desarrollar, desprendimientos y deslaminaciones del recubrimiento.

Dependiendo del avance del deterioro, una reparación parcial o parcheo de la superficie puede resultar efectiva.

Una reparación parcial, debe considerar el retiro mínimo de 2cms sobre la capa de la armadura. Por otra parte, en una reparación total, el retiro máximo no debe ser mayor que la mitad del espesor del elemento.

Una sustitución parcial o completa del recubrimiento contaminado, deberá considerar un hormigón con características impermeables, resistente a agentes agresivos causantes de corrosión.

Este proceso puede realizarse manualmente, o mediante hormigón o mortero proyectado colocado mediante lanzamiento a alta presión sobre la superficie a cubrir,

siendo capaz de autoportarse, si escurrir ni desprenderse en cualquier posición que sea aplicado.

Puede ser aplicado mediante vía seca o húmeda, dependiendo del volumen de material requerido, incorporando a la mezcla fibras o polímeros con la finalidad de disminuir el rebote, y la fisuración por retracción plástica.

**a) Morteros de cemento:** Su eficacia es equivalente al recubrimiento original, y se basa en la pasivación de la armadura de refuerzo, por medio alcalino que proporciona el cemento, podrán modificarse con aditivos plastificantes, para mejorar su densidad y trabajabilidad o reductores de agua. Se debe considerar además, un puente de adherencia en la superficie del hormigón antiguo.

**b) Mortero tixotrópico:** Los morteros tixotrópicos están compuestos por cementos especiales, áridos de granulometría seleccionada y modificados con polímeros, que permiten la reparación de hormigones estructurales y devolver su forma original de forma rápida, sin necesidad de utilizar encofrados. Sus propiedades mecánicas son equiparables o superiores al hormigón y permiten aplicar grandes espesores por capas.

Previa a su aplicación, se deberá considerar el tratamiento de la armadura de refuerzo con productos inhibidores de la corrosión, y además se recomienda aplicar un puente de unión epoxi para aislar a los morteros de reparación y a las armaduras de la difusión de los cloruros existentes en el hormigón.

**c) Concreto polimérico:** Es un material plástico compuesto por resina poliéster y agregados minerales de distintas granulometrías, ésta composición da como resultado un compuesto sólido de alta resistencia a la compresión.

Sus características principales son, su impermeabilidad, y resistencia a ataques químicos, por lo que su empleo es altamente recomendable en la reparación de estructuras expuestas a ambiente marino.

El reemplazo o recrecido del hormigón deteriorado mediante el uso de concreto polimérico, debe considerar aspectos técnicos asociados a las características de éste material.

Dada su alta impermeabilidad, en ciertas condiciones puede desarrollar problemas de adherencia con el hormigón tradicional, por lo tanto su aplicación debe considerar el tratamiento de la superficie y el empleo de promotores de adherencia de alta resistencia, que garanticen una correcta unión entre ambos materiales.

Respecto a las características del material se puede señalar lo siguiente:

- Alta resistencia mecánica.
- Bajo peso específico.
- Rápido endurecimiento.
- Alta resistencia en ambientes agresivos.
- Elevada resistencia a la tracción /compresión.
- Impermeable.

### 12.9. Refuerzos y reemplazo de armadura deteriorada

Como condición principal, los refuerzos o reemplazos deberán ser diseñados con objeto de obtener una máxima compatibilidad y proporcionar además continuidad estructural con el elemento existente, con objeto de restituir la capacidad mecánica de la estructura.

Dependiendo el elemento a tratar, el reemplazo o incorporación de refuerzo en la estructura puede considerar las siguientes acciones de intervención:

**a) Barras de traslape:** Permite reparar y restituir la continuidad de una barra dañada o cortada, incorporando una barra que actuará como “suple”, traslapándola a los extremos de la barra deteriorada. Se recomienda para daños localizados en la armadura, y requiere la utilización de barras de acero del mismo diámetro que el acero dañado.

El largo de la barra de traslape debe ser respaldado mediante cálculo, tanto el suple como la barra a conectar, deben estar limpios y libres de residuos que impidan la unión de los elementos. La barra se unirá mediante alambres cada 10 cm como máximo en toda la longitud del traslape, y deberá estar correctamente alineado con los extremos de la barra existente.

Luego de instalada la barra se rellenará con hormigón la zona tratada, protegiendo adecuadamente la armadura.

**b) Anclajes de acero:** Orientados a corregir deterioro de superficies, como fisuras o grietas, con objeto de restituir la condición la estabilidad estructural del elemento a intervenir.

**c) Refuerzos externos:** Consiste en fijar pletinas de acero a estructuras existentes de hormigón mediante adhesivos epóxicos. Las superficies de los materiales se deben preparar de manera tal que se encuentren secas y limpias de partículas que impidan la correcta adherencia, la preparación tanto en la superficie de la estructura, como en la pletina, es fundamental para lograr un refuerzo de calidad, debiendo cumplir requisitos técnicos y de control rigurosos, dado a las diferencias en módulos de elasticidad y dilatación de los materiales.

**d) Colocación de armadura adicional:** El procedimiento consiste en reforzar las armaduras existentes con otras según la función de la estructura y según cálculo, para esto se deberá demoler el elemento en la zona a reforzar, aumentada de acuerdo a las longitudes requeridas por las nuevas armaduras.

**e) Refuerzo con fibras de carbono:** Aunque es una técnica relativamente nueva, el refuerzo de estructuras mediante este material, sea en formato textil o barras, es recomendable en ambiente marino dada las características que este material posee, destacándose su bajo peso, alta resistencia mecánica, resistencia a la sal y a ambientes corrosivos, ya que al ser un material compuesto por fibras de carbón o vidrio y resina epóxica no es susceptible al proceso de corrosión.

El refuerzo mediante barras o textiles de fibra de carbono, deberá considerar una superficie libre de fisuras, deformaciones, partículas sueltas y desprendimientos de hormigón. Además es indispensable un conocimiento profundo de las características mecánicas y químicas (pH) del hormigón al momento de la elaboración del proyecto de refuerzo, y conocer en detalle la condición del acero de refuerzo, aspectos que permiten obtener resultados óptimos desde el punto de vista estructural.

Esta técnica de refuerzo se podrá realizar como se indica a continuación:

e.1) Fibra de carbono adherida exteriormente: Permite restituir la resistencia de un elemento estructural, mediante el uso de sistemas compuestos con fibras de carbono en formato textil flexible unidireccional o bidireccional y un adhesivo tipo epóxico.

El elemento a reforzar, deberá prepararse hasta alcanzar una superficie seca, libre de cualquier contaminación que impida una correcta adherencia, eliminando resaltes, lechada superficial, impurezas y material débil, además se requiere obtener una adecuada rugosidad superficial, para aumentar la superficie de contacto y la adherencia del material de refuerzo.

El refuerzo con fibras puede ser manual en seco o manual húmedo.

En el caso del refuerzo manual en seco, el tejido se aplica sobre una superficie ya imprimada con el adhesivo, así una vez colocado el refuerzo en su posición definitiva, se aplicará nuevamente el adhesivo sobre el tejido cuidando que cubra la totalidad de la superficie evitando posibles bolsas de aire entre la estructura y el tejido de refuerzo.

En el caso del refuerzo manual húmedo, el tejido de refuerzo se debe saturar previamente con el adhesivo controlando que penetre a través de toda su superficie, una vez saturado el tejido, se instalará en su posición definitiva.

Para ambos casos, y si el proyecto lo requiere, se debe realizar el mismo procedimiento para las capas sucesivas.

e.2) Barras de fibra de carbono embebidas: Sistema que consiste en la inserción de barras en calados realizados en la superficie del elemento y fijadas mediante adhesivos epóxicos.

El elemento a reforzar, deberá contar con un espesor de recubrimiento que permita incorporar adecuadamente las barras, verificando anteriormente la profundidad de la armadura existente y la presencia de conductos integrados u otros elementos en el interior de la estructura.

En la superficie de la estructura a reforzar, se realizarán calados con una profundidad y ancho de acuerdo a la barra a utilizar, cuidando que antes de la instalación, las ranuras o calados se encuentren secos, libres de polvo o cualquier material que impida la adherencia.

Cumpliendo los procedimientos anteriores, se aplicará el adhesivo en las ranuras o calados en cantidad necesaria para asegurar que el refuerzo quede completamente embebido.

Se debe señalar que la incorporación de refuerzos mediante este material, no alteran la rigidez de la estructura, factor importante ante sollicitaciones en situaciones sísmicas.

Respecto a las barras de carbono se puede señalar lo siguiente:

- Poseen alta resistencia y rigidez.
- Es ligera siendo 1/5 del peso del acero.
- No se corroe.
- Corto tiempo de instalación.
- Aumenta la capacidad de carga de la estructura.
- Aumenta la capacidad de flexión en vigas y losas de hormigón.
- Restaura la capacidad estructural de estructuras deterioradas.
- Sustituye barras de refuerzo faltantes.
- Alta capacidad antisísmica.

Todos los procesos descritos anteriormente, deberán considerar el análisis y cálculo tanto del refuerzo como de la estructura a reparar.

## **CAPÍTULO XIII: CASO DE ESTUDIO, CINE DIANA COMUNA DE CARTAGENA**

### **13.1. Breve reseña histórica**

Con el título no menor de ser una de las primeras salas profesionales de cine, las ruinas que hoy perduran de este emblemático edificio, son parte de la memoria de los habitantes de Cartagena, siendo testigo silencioso de una época en la que la comuna brillaba con luz propia.

En 1901, y mediante Decreto Supremo se crea la Comuna de Cartagena, para ese entonces la ciudad contaba con adelantos poco comunes en nuestro país, alumbrado público a gas, locomoción colectiva, telégrafo, una estación bencinera, red de alcantarillado, calles pavimentadas.

En el año 1912, se extiende la red de ferrocarril hasta Cartagena, transformándose en un punto de inflexión en la historia de este balneario, permitiendo el arribo de flujos masivos de turistas, situación que implicó el retiro paulatino de la clase acomodada asentada en la comuna, lo que sumado a la escasa inversión tanto pública como privada, generaron lentamente un proceso de deterioro y abandono de las casonas y en general de la infraestructura que a este ese entonces hacía de Cartagena un lugar único.

En ese contexto de desarrollo, es que en la década del 50 se construye el Cine Diana, edificio que basa su diseño en la estética y conceptos arquitectónicos rescatados de la época dorada de los teatros de Nueva York.

Su arquitectura se expresaba de manera elegante mediante el uso del hormigón armado como material constructivo, proporcionando un diseño y características de diseño que hicieron que este recinto se destacara en todo el Litoral.

Sin embargo el alto costo de mantención, la falta de inversión de privados y el recambio de la clase de turistas, el Cine Diana paulatinamente fue perdiendo la capacidad de sostenerse como un atractivo cultural, lo que inevitablemente se tradujo en el cierre de la actividad para la cual fue diseñado.

Ya en proceso de deterioro, los vecinos del sector habilitaron una improvisada cancha de futbol a mediados de los años 80, siendo ese su último uso hasta que las condiciones de seguridad terminaron por cerrar sus puertas de manera definitiva hasta el día de hoy.

### 13.2. Ubicación y entorno

El edificio se ubica en el extremo Sur de Playa Chica en Cartagena, el acceso desde Calle Vicente Huidobro (Ex Rio Bueno), presenta una fachada en un ángulo orientada hacia el Poniente, que mira directamente hacia la terraza de Playa Chica.

El terreno en el que se emplaza, ofrece una explanada al costado sur que tiene como límite un estero a una distancia de 6 mt, esta explanada genera el suficiente espacio permitiendo observar la fachada norte de manera completa.



Imagen N° 1.- Ubicación y contexto general

El entorno inmediato, brinda al observador un conjunto de edificaciones de influencia europea fechadas entre 1890 y 1915, destacándose entre ellas, el Castillo Foster.

Un aspecto importante a destacar, es que en el 23 de Noviembre del año 1999, tanto el borde costero como el sector de la casa y tumba de Vicente Huidobro, fueron declarados Monumento Nacional, en la categoría de Zona Típica. Esta denominación pretende poner en valor las construcciones que se encuentran en este polígono, según se establece en el Artículo 29° de la Ley de Monumentos Nacionales, “para el efecto de mantener el carácter ambiental y propio de ciertas poblaciones o lugares donde existieren ruinas arqueológicas, o ruinas y edificios declarados Monumentos Históricos”.

### **13.3. Situación actual del edificio**

El ex cine Diana actualmente en situación de abandono desde hace aproximadamente 25 años, de manera progresiva fue deteriorándose al punto de que al día de hoy lo único que se puede observar es su envolvente de hormigón armado de gran volumen con una altura aproximada de 7 metros.

El prolongado tiempo en desuso y abandono, ha provocado que a través del tiempo haya perdido elementos de su arquitectura original, tales como puertas, ventanas, envigados de madera que soportaban zonas de tránsito en el segundo piso, losas, etc.

De lo anterior, el aspecto más relevante en el proceso de deterioro y su condición actual, es el colapso de la cubierta presumiblemente ejecutada en estructura de madera. Resultado de esto, su interior se encuentra expuesto a la intemperie y a la acción climática del borde costero.

Algunos elementos, como pilastras en vanos y ornamentos que decoraban el recubrimiento de los muros, se encuentran desprendidos y bastante deteriorados, pudiendo evidenciarse solo algunas muestras de las características de los elementos decorativos originales.

Se observa una losa de hormigón armado del segundo nivel completamente colapsada en un recinto del acceso y que servía como terraza al aire libre, además restos de un envigado de madera que eran parte de la estructura para el revestimiento de piso, a una altura aproximada de 3 mt sobre la cota de la acera.

En general se puede señalar que dada la antigüedad del edificio, las técnicas empleadas para su construcción se realizaron sin una normativa que regulara aspectos de diseño y cálculo, proceso realizado además por etapas y de manera artesanal.

Esto se puede distinguir en la elección del moldaje del hormigón, principalmente compuesto por piezas de madera unidas entre sí, que otorgan a la superficie del hormigón una textura irregular.

Además por acción sísmica y la influencia del medio ambiente, se han perdido capas de recubrimiento del acero de refuerzo principalmente en losas al interior.

El hormigón en general presenta lesiones a causas de distintos efectos, observándose desprendimientos, fisuras, pérdida de revestimiento superficial y exposición del acero de refuerzo, el que se encuentra corroído.

El registro fotográfico del estado de conservación se presenta en Anexo2.

## CAPÍTULO XIV: TRABAJO EXPERIMENTAL

### 14.1. Aspectos generales

Para la evaluación de la condición del edificio, se planificaron jornadas de inspección tendientes a conocer el estado actual de la estructura identificando los daños y lesiones que le afectan, a fin de obtener un conocimiento acabado de su condición que permitiera elaborar gestiones de conservación de la envolvente de hormigón, con objeto de detener el avance del proceso de deterioro.

### 14.2. Etapas del proceso de evaluación

Las etapas para el desarrollo de la evaluación fueron las siguientes:

**a) Reconocimiento inicial:** El objetivo principal de esta etapa, fue identificar los daños en la estructura mediante inspección visual y registro fotográfico de los elementos, sean estas fisuras, grietas o cambios de aspecto en la superficie del hormigón, que permitiera determinar las acciones posteriores de intervención y tomar decisiones respecto a que zonas de la estructura intervenir.

En esta actividad se pudo observar intervenciones anteriores en elementos de la estructura, principalmente perforaciones con exposición de la armadura de refuerzo en pilares y muros, y según la información recogida con una antigüedad de 1 ½ año aproximadamente. Esta etapa consideró además, el levantamiento del edificio y la elaboración de la planta de arquitectura, con objeto de señalar gráficamente las zonas a analizar.

**b) Perforación de elementos:** Se realizaron dos perforaciones, una en un muro en el sector del acceso y en un pilar interior expuesto a la intemperie, esto enfocado en dos objetivos principales, el primero conocer el espesor del recubrimiento del acero de refuerzo en otras zonas, y obtener un registro de la condición del acero que aún se encuentra protegido, el tipo de acero empleado, la distribución al interior de la estructura, y su estado de conservación.

**c) Ensayo de carbonatación:** Se realizaron muestras tanto en las perforaciones existentes como en las realizadas. Mediante el uso de Fenolftaleína al 1%, se pudo medir la influencia del proceso de carbonatación, y su frente de avance en relación al tiempo.

El ensayo de carbonatación en perforaciones nuevas se realizó pasados 10 días de intervenidos los elementos.

Concluido el proceso de inspección, la información levantada fue traspasada a una serie de fichas de control de inspección, donde se describen los elementos analizados y recomendaciones generales de intervención.

## **CAPÍTULO XV: RESULTADOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

### **15.1. Aspectos generales**

La información recogida en terreno permitió la elaboración de un diagnóstico del edificio y del estado actual de la estructura asociado a los siguientes aspectos.

- Elaboración del hormigón utilizado.
- Estado de la estructura de hormigón.
- Estado del acero de refuerzo.
- Resultado del ensayo de carbonatación.

### **15.2. Elaboración del hormigón utilizado**

Para la elaboración del hormigón no se descarta la utilización de arena proveniente de la playa dada la cercanía del edificio respecto a ella.

De haber optado por este material, la arena proveniente de la playa no tiene una graduación adecuada y el módulo de finura de ella conlleva una adición mayor de agua, influyendo en la dificultad para el ligado de la mezcla, una menor resistencia final y principalmente un hormigón de alta permeabilidad.

Esta hipótesis puede sustentarse en el uso de un árido de mayor tamaño, con objeto de que el volumen de áridos en el hormigón sea mayor reduciendo la proporción de arena utilizada.

Por otra parte, el uso de arena de playa en la elaboración de la mezcla, influye directamente en el deterioro de las barras de acero y en la velocidad de corrosión de ellas, esto por el contenido de cloruros presente en la arena los que se incorporaron al hormigón, dando como resultado una concentración inicial de cloruros mayor a la permitida. Aspectos que se describen en apartado 7.4.

### **15.3. Estado de conservación de la estructura**

La condición de la estructura de hormigón, presenta lesiones producto de distintos agentes agresivos, dado al estado de abandono durante aproximadamente 25 años, y por encontrarse la estructura a la intemperie.

Se puede señalar que la condición general es de avanzado deterioro, los que de acuerdo al elemento analizado se describen de la siguiente manera:

**a) Elementos ornamentales:** Principalmente de carácter decorativo y que coronaban el perímetro del primer nivel, actuando como elemento divisor entre el segundo nivel.

Se encuentran totalmente deteriorados, desprendidos del muro y solo una pequeña porción de ellos se mantiene adherida conservando su forma. En ese contexto, los restos presentes de este elemento sirven como muestra para una posible reconstrucción.

**b) Revestimiento de piso:** Se pueden distinguir en el acceso y en el recinto interior, revestimientos de piso en base a baldosas al líquido, las que se encuentran en buen estado, sin deformaciones, desniveles o asentamientos.

Lo anterior indica que el comportamiento estructural de las capas que componen los estratos inferiores, se encuentran bien consolidados, aunque para determinar lo anterior es necesario realizar un estudio de mecánica de suelo.

**c) Vanos:** Se observa pérdida de alféizares en ventanas tanto en primer y segundo nivel, y con riesgo de desprendimiento. Salvo en algunos casos en el primer nivel, tanto las puertas y ventanas perdieron sus centros de madera que componían los marcos, quedando el hormigón expuesto el que presenta irregularidades en su interior y algunos desprendimientos de revestimiento.

Además se observa la aparición de pequeñas fisuras y grietas en vanos de la fachada con desprendimiento de revestimiento, algunas sin compromiso de la estructura, otras sin embargo tienen una larga extensión, conectándose con los pilares de la fachada principal.

**d) Cadenas:** Principalmente en el volumen de la fachada que mira hacia calle Vicente Huidobro, se observa un deterioro importante en estos elementos, generación de fisuras superficiales y grietas, algunas con movimiento y penetración al interior del muro.

**e) Pilares:** La estructura de pilares de la edificación, no presenta mayor deterioro, no se observan fisuras ni grietas de importancia que los comprometan estructuralmente.

La secuencia de pilares en la fachada sur, no presenta síntomas relevantes, salvo algunas exposiciones del acero de refuerzo en la unión con la cubierta, los que quedaron expuestos tras el colapso de esta.

**f) Vigas:** Las vigas de encuentro con pilares en la fachada, presentan desprendimiento del recubrimiento de hormigón, con exposición de la armadura de refuerzo, y evidencia de fisuras y grietas de distinta magnitud.

**g) Losas:** Principalmente se reconocen en la estructura tres de estos elementos:

El primero en el volumen que sobresale en la fachada, el que está completamente colapsado. En el proceso de inspección, se pudo observar que bajo la losa hay restos de un envigado de madera que colaboraba estructuralmente con la estructura, el deterioro de estos, generó la pérdida de apoyos de manera diferenciada, y sumado a acciones sísmicas se produjo el colapso de la estructura.

En el ingreso, se observa una losa en la transición hacia el interior de la sala principal, en general y dado que se encuentra al interior y protegida además por un cielo falso parcialmente desprendido no se observan lesiones de importancia, salvo algunos desprendimientos menores de revestimiento y una leve exposición del acero de refuerzo en encuentro con un muro.

Por último, la losa interior que servía de palco en segundo nivel presenta un deterioro más avanzado.

En ella se observan daños principalmente por acción climática, generación de malezas que se abrieron paso a través del hormigón de recubrimiento el que progresivamente se fue degradando, dando como resultado la pérdida parcial del recubrimiento superficial.

Producto de esto, la cara inferior de la losa que cubre el primer nivel, presenta desprendimientos importantes del recubrimiento superficial, sin evidencia de grietas o fisuras en la superficie expuesta del muro de hormigón, y exposición de la armadura de refuerzo la que se encuentra corroída.

De no generar una intervención a corto plazo, la magnitud del deterioro avanzará hasta que su condición sea irrecuperable.

**h) Muros:** En general el análisis realizado durante la inspección, pudo determinar que el estado de los muros de hormigón presentan distintos síntomas y lesiones atribuibles a la acción degenerativa de eventos sísmicos, a la exposición ambiental, a la falta de mantención y a la situación de abandono.

No obstante lo anterior, un aspecto favorable es la inexistencia de asentamientos diferenciados en el encuentro con el pavimento, situación que indica un buen comportamiento de la estructura de fundación.

Un factor importante es la colocación del hormigón, dado que en casi la totalidad de los muros interiores se ha perdido el revestimiento, se puede apreciar que la técnica empleada para los moldajes que contenían el hormigón, se efectuó con piezas de madera unidas entre sí, esto produjo pérdida de lechada y salida de mortero, influyendo en la condición de la superficie exterior del hormigón.

Respecto a lo señalado anteriormente, y dada la altura de la edificación, el proceso de llenado debió realizarse por etapas, las que no fueron suficientemente compactadas ni vibradas, generando nidos, disgregaciones y falta de continuidad en la masa del hormigón, como también zonas con irregularidad en la concentración y tamaño del árido.

En el recinto principal del primer nivel, la capa de estuco superficial se encuentra parcialmente desprendida, dejando visible la superficie del muro de hormigón.

Se observan fisuras superficiales de distinta magnitud en la capa de estuco en algunos muros, sin evidencia de que traspasen hacia el interior, sin embargo en el muro descrito en Ficha N° 7, se detectó una grieta en toda la superficie del muro, la que aparentemente penetra al interior del muro. Su influencia en la estructura debe ser analizada en profundidad para determinar las acciones de tratamiento.

El revestimiento superior de los muros perimetrales sobre la cadena que corona los muros del primer nivel, se realizó con placas de cemento de 5cm de espesor aproximadamente, estas placas se encuentran débilmente adheridas a la superficie del muro y con riesgo de desprenderse.

#### **15.4. Acero de refuerzo**

El análisis para determinar las características y el tipo de acero de refuerzo utilizado, se realizó mediante inspección visual de los elementos que se encontraban expuestos al ambiente, realizando mediciones de los diámetros utilizados de acuerdo al elemento estructural.

En ese contexto se pudo observar lo siguiente:

**a) Tipo de barra:** Barras de acero lisas en todos los elementos estructurales.

**b) Diámetros:** Los diámetros utilizados varían de acuerdo al elemento estructural, pudiendo clasificarlos de la siguiente manera:

b.1) Losas: Se pudo registrar el uso de barras de fe Ø 12mm.

b.2) Vigas: Se pudo registrar el uso de barras de fe Ø 12mm.

b.3) Muros: En muros el registro del diámetro de las barras de acero se realizó en las perforaciones existentes y en las perforaciones realizadas.

Se pudo comprobar el uso barras de fe Ø 8mm y fe Ø 10mm, observando elementos individuales y entramados para el refuerzo interior.

b.4.) Pilares: En ambos pilares analizados, se pudo observar una composición distinta respecto a la distribución como al diámetro de la armadura interior.

En la perforación existente, la armadura interior se compone de 4 fe Ø 12mm, en sentido vertical, y una barra de amarre en sentido horizontal de fe Ø 6mm.

En las perforaciones realizadas la situación es completamente distinta, se pudo observar 2 fe Ø 16mm en sentido vertical, y una barra de amarre en sentido horizontal de fe Ø 6mm.

#### **15.4.1. Corrosión del acero de refuerzo**

Para determinar el grado de corrosión de la armadura de refuerzo, se realizó la inspección visual de los elementos que se encontraban expuestos y en las perforaciones realizadas.

En esta inspección, no fue posible registrar un elemento que se encontrara sano y sin algún grado de corrosión que permitiera determinar reducciones de sección en comparación a barras sanas y sin corrosión, no obstante lo anterior, respecto al acero de refuerzo se puede señalar lo siguiente:

**a) Acero en losas de hormigón:** En estos elementos de la estructura se pudo observar un importante deterioro y un grado de corrosión avanzado.

La exposición permanente durante el período de abandono de la estructura, desarrolló un desgaste en el recubrimiento de hormigón, facilitando la acción degenerativa de la armadura por acción de la corrosión.

En la armadura se pudo observar una disminución en su sección en zonas puntuales, o corrosión localizada, con una reducción de un 60% del diámetro registrado, sin embargo, la corrosión generalizada es la condición principal de las barras.

Además, el acero presenta deslaminación, y aunque en sectores de la losa la armadura aún se encuentra protegida por el recubrimiento de hormigón, la delgada capa que lo cubre, hace presumir que las barras se encuentran en estado de corrosión avanzado.

**b) Acero en muros:** En estos elementos, no se observa una pérdida de diámetro significativa, aunque si presencia de picaduras en algunas porciones de la barra.

En estos elementos, la exposición al ambiente, ha generado corrosión generalizada en las barras de acero, sin pérdida de adherencia con el hormigón que las cubre, las amarras de menor diámetro que unen las barras principales con las secundarias, aun cumplen su función aunque se encuentran evidentemente corroídas.

c) **Acero en pilares:** En estos elementos, tampoco hay evidencia importante respecto a pérdida de diámetro del acero, y se encuentran bien adheridas al hormigón.

Al igual que en los muros analizados, la condición de exposición, ha generado corrosión generalizada en las barras de acero, sin embargo su condición respecto a lo detectado en losas, es considerablemente más saludable.

En consecuencia se podría señalar lo siguiente:

Como se indicó anteriormente, el posible uso de arena proveniente de la playa, genera concentraciones iniciales de cloruros presentes en el hormigón más altas a lo permitido, alterando la calidad del material, aumentando la velocidad del proceso de corrosión y características de la corrosión del acero de refuerzo.

Este aspecto en la elaboración del hormigón, pudo ser determinante en el desarrollo de una corrosión generalizada de las barras, con solo algunos elementos que presentan disminución de sección.

Como se señaló, el efecto del proceso de carbonatación no tiene mayor incidencia en ambiente marino, siendo la acción de cloruros causa principal del deterioro de la armadura.

Sin embargo el ensayo para determinar el avance del frente de carbonatación en el hormigón, dio como resultado una disminución del pH alcalino, y en consecuencia facilitando la acción degenerativa por acción de cloruros.

Resumiendo lo anterior, se podría concluir que la degradación del acero de refuerzo podría estar asociada a:

- La elección de materiales para la elaboración del hormigón.
- Proceso constructivo sin apego a normativa.
- Un sistema de llenado por etapas, deficiente compactación y curado.
- Concentración irregular de áridos, lo que generó nidos al interior del hormigón.
- Falta de compacidad de la masa de hormigón.

Lo descrito anteriormente pudo dar como resultado un hormigón disgregado, con fisuras superficiales y de alta permeabilidad, facilitando con esto el ingreso de agentes agresivos desde el exterior, lo que sumado a la falta de mantenimiento de la estructura, y la condición de abandono generó en el acero un grave problema de corrosión.

## **15.5. Ensayo de carbonatación**

### **15.5.1. Procedimiento en perforaciones existentes**

El procedimiento para medir el avance del frente de carbonatación en las perforaciones existentes, se realizó con apego estricto a las consideraciones de uso de la solución de fenolftaleína, preparando las zonas de muestro con objeto de que estas se encontraran secas, limpias, y libre de partículas sueltas.

El registro fotográfico del procedimiento de medición del avance del frente de carbonatación en perforaciones existentes está registrado en el Anexo 2.3.1.

#### **Interpretación de resultados:**

- a) Hormigón no carbonatado: Color rojo – púrpura o fucsia. Valores de pH > 12,5.
- b) Hormigón con indicios de carbonatación: Color rosa. Valores de pH entre 12,5 y 10.
- c) Hormigón carbonatado: Hormigón incoloro. Valores de pH < 9.

El tiempo de espera para la evaluación de los resultados fue de 15 minutos, y se describen a continuación:

#### **1.- Medición en pilar en eje D-2:**

El espesor del recubrimiento de hormigón para las barras de acero en este elemento es de 10 cm.

Aplicada la solución de fenolftaleína, y considerando un tiempo de espera de 15 minutos para la reacción en el hormigón, dio como resultado un hormigón incoloro en reacción a la fenolftaleína.

En esta muestra se puede concluir que el hormigón se encuentra carbonatado, y el frente de penetración ha avanzado hasta la profundidad en que se encuentra la armadura de refuerzo. Esto indica un valor de pH <9 del hormigón.

#### **2.- Medición en muro interior eje D-4:**

El espesor del recubrimiento de hormigón para las barras de acero en este elemento es de 10 cm.

Aplicada la solución de fenolftaleína, y considerando un tiempo de espera de 15 minutos para la reacción en el hormigón, dio como resultado un hormigón incoloro en reacción a la fenolftaleína.

En esta muestra se puede concluir que el hormigón se encuentra carbonatado, y el frente de penetración ha avanzado hasta la profundidad en que se encuentra la armadura de refuerzo.

Esto indica un valor de pH <9 del hormigón.

### **3.- Medición en muro interior eje E-3:**

El espesor del recubrimiento de hormigón para las barras de acero en este elemento es de 5 cm, y la profundidad de la perforación es de 12cm.

Aplicada la solución de fenolftaleína, y considerando un tiempo de espera de 15 minutos para la reacción en el hormigón, dio como resultado un hormigón con una leve tonalidad rosa en reacción a la fenolftaleína de aproximadamente 2 cm, desde la superficie exterior, sin embargo hacia el interior la reacción no presentó coloración.

En esta muestra se puede concluir que el hormigón presenta un diferencial en el avance del frente de carbonatación, sin embargo el proceso de avance se encuentra en desarrollo, y se espera que alcance la profundidad a la que se encuentra la armadura de refuerzo.

Se podría estimar un valor de pH del hormigón levemente superior a 9.

### **4.- Medición en muro exterior eje I-5:**

El espesor del recubrimiento de hormigón para las barras de acero en este elemento es de 10 cm.

Aplicada la solución de fenolftaleína, y considerando un tiempo de espera de 15 minutos para la reacción en el hormigón, dio como resultado un hormigón con una tonalidad rosa un poco más intensa en reacción a la fenolftaleína de aproximadamente 7 cm, desde la superficie exterior, sin embargo se observa irregularidad de la tonalidad en la cara opuesta de la perforación, disminuyendo la intensidad e incluso no presentando coloración.

En esta muestra se puede concluir que el hormigón presenta un frente de avance menor a las muestras anteriores situando el pH en rangos de <12 o 10, no avanzando totalmente hasta la profundidad del acero de refuerzo.

No obstante lo anterior la irregularidad en la coloración del hormigón ante la aplicación de la solución, da signos de desarrollo diferenciado del avance de carbonatación en esta perforación.

### **15.5.2. Conclusiones del procedimiento**

En conclusión se puede determinar que en las perforaciones existentes, el hormigón se encuentra carbonatado, y el frente de avance ha alcanzado la armadura de refuerzo.

Si bien esta condición no es propia en ambiente marino, aspectos que pudieron influir en la profundidad de penetración en el hormigón son:

- Antigüedad de la perforación expuesta al ambiente.
- Proceso constructivo.
- Calidad del hormigón de recubrimiento.

### **15.5.3. Procedimiento en perforaciones nuevas**

Con objeto de realizar una medida comparativa del avance del frente de carbonatación, se realizaron nuevas perforaciones de las mismas características y en componentes de la estructura similares.

Para esto se utilizó el mismo equipo, y la profundidad de las perforaciones se realizó hasta alcanzar la armadura de refuerzo y dejarla totalmente expuesta.

El procedimiento consideró la preparación de los elementos sometidos al ensayo, aplicando la solución de fenolftaleína mediante pulverización, en superficies secas, limpias y libres de partículas sueltas.

El registro fotográfico del procedimiento de medición del avance del frente de carbonatación en perforaciones existentes está registrado en el Anexo 2.3.2.

#### **1.- Medición en muro en eje C-3:**

El espesor del recubrimiento de hormigón para las barras de acero en este elemento es de 8 cm.

Aplicada la solución de fenolftaleína, y considerando un tiempo de espera de 15 minutos para la reacción en el hormigón, dio como resultado un hormigón incoloro en reacción a la fenolftaleína.

En esta muestra se puede concluir que el hormigón se encuentra carbonatado, y el frente de penetración ha avanzado hasta la profundidad en que se encuentra la armadura de refuerzo.

Esto indica un valor de pH <9 del hormigón.

## **2.- Medición en pilar interior eje D-3:**

El espesor del recubrimiento de hormigón para las barras de acero en este elemento es de 10 cm.

Aplicada la solución de fenolftaleína, y considerando un tiempo de espera de 15 minutos para la reacción en el hormigón, dio como resultado un hormigón incoloro en reacción a la fenolftaleína.

En esta muestra se puede concluir que el hormigón se encuentra carbonatado, y el frente de penetración ha avanzado hasta la profundidad en que se encuentra la armadura de refuerzo.

Esto indica un valor de pH <9 del hormigón.

### **15.5.4. Conclusiones del procedimiento**

El resultado del procedimiento en las perforaciones realizadas después de aplicada la solución de fenolftaleína, indican un hormigón carbonatado, alcanzando la profundidad a la que se encuentra la armadura de refuerzo.

De lo anterior se puede extraer que, la antigüedad de las perforaciones existentes y la exposición al ambiente, no es un aspecto determinante en el frente de avance de carbonatación al interior del hormigón, ya que el procedimiento realizado en las perforaciones nuevas, y expuestas 10 días al ambiente, arrojó el mismo resultado que en las perforaciones existentes.

El proceso constructivo, pudo ser un factor que influyó en la calidad del hormigón, dando como resultado una baja impermeabilidad.

Aunque el desarrollo y avance de la carbonatación en el hormigón, no es la característica principal que impacta en el deterioro de las estructuras sometidas al ambiente marino, sin embargo, la edad de la edificación, el estado de abandono y la exposición a la intemperie, son aspectos a considerar para interpretar los resultados obtenidos.

### 15.6. Predicción del avance de carbonatación en armadura protegida.

El análisis que se presenta a continuación, pretende modelar el avance de la carbonatación del hormigón durante el tiempo de servicio de la estructura, y que permita relacionar los resultados obtenidos, con el tiempo estimado en que el frente de carbonatación alcanza la armadura de refuerzo.

Considerando que el espesor del recubrimiento varía de acuerdo al elemento de la estructura analizada, y algunas perforaciones presentaron una disminución del pH menor, el avance promedio del frente de carbonatación se fijó en 8cm desde la superficie del recubrimiento hacia el interior.

De esta manera se puede determinar lo siguiente:

Antigüedad de la estructura 65 años.

$$x = k * \sqrt{t}$$

$$80 = k * \sqrt{65}$$

$$k = 80 / \sqrt{65}$$

$$k = 9,92 \text{ mm/año}^{1/2}$$

Conocido el valor de  $k = 9,92 \text{ mm/año}^{1/2}$ , se puede obtener el tiempo requerido para que el frente de carbonatación alcance la armadura de refuerzo, estimando un recubrimiento promedio de 8cm.

$$x = k * \sqrt{t}$$

$$80 = 9,92 * \sqrt{t}$$

$$\sqrt{t} = \frac{80}{9,92}$$

$$\sqrt{t} = 8,06$$

$$t = 65 \text{ años}$$

Según lo anterior se puede determinar que el avance del frente de carbonatación del hormigón durante el periodo de servicio del edificio, ha alcanzado la profundidad a la que se encuentra la armadura de refuerzo, lo que tiene directa relación con el procedimiento de aplicación de fenolftaleína que mostró resultados que indican una reducción del pH del hormigón, y en consecuencia provocando despasivación del acero en el interior.

Se debe señalar que el resultado de las muestras respecto a la reacción del hormigón ante la pulverización de la solución de fenolftaleína, como para la aplicación del modelo predictivo, puede presentar alteraciones dado que la estructura se encuentra en abandono desde hace 25 años, y en exposición directa al ambiente.

Entonces se podría concluir que en condiciones de conservación adecuada y sin exposición de la estructura a la intemperie, el valor para  $t$ , que determina el tiempo de avance del frente de carbonatación, podría ser mayor a 65 años.

SOLO USO ACADÉMICO

## **CAPÍTULO XVI: SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DEL EDIFICIO ANALIZADO**

### **16.1. Aspectos generales**

En este capítulo se propondrán las gestiones tendientes a proteger y conservar la estructura analizada de acuerdo a los resultados obtenidos durante el proceso de inspección y los ensayos realizados. Si bien se describen técnicas y materiales las intervenciones que se proponen a continuación no constituyen una especificación técnica en sí, y las acciones recomendadas deben ser validadas mediante cálculo.

De acuerdo a lo anterior, el principal objetivo planteado en el estudio de esta estructura es proponer gestiones de intervención que permitan controlar y detener el avance del deterioro al cual se ve expuesta la estructura.

Aunque se realizó una inspección integral del recinto, el énfasis fue puesto en los componentes estructurales, obviando un análisis profundo de la condición de elementos ornamentales, pavimentos y terminaciones del recinto, aunque sí fueron mencionados en el Capítulo XV.

De esta manera, los sistemas de refuerzo y protección para la conservación de la estructura, se desprenden de la información contenida en las fichas de control y de los elementos de la estructura que ahí se describen.

### **16.2. Demoliciones y desarmes**

La necesidad de realizar estas acciones, tiene por objetivo liberar a la estructura de cargas adicionales que puedan afectar su integridad y además realizar los trabajos posteriores en condiciones de seguridad.

Es por esto que elementos como, balaustas en terraza, ornamentos interiores, alfeizares y revestimientos en el recinto interior deben ser retirados, además se debe contemplar el retiro de restos de mortero de pega, lechadas y todo elemento que se encuentre débilmente adherido a la superficie de la estructura. En el segundo nivel se despejará la superficie de malezas y elementos orgánicos presentes en la losa del palco.

Lo mismo debe ser considerado en el recinto descrito en Ficha de control N°8, debiendo retirar tanto los elementos colapsados, como también los que aún se encuentran adheridos a los muros, con especial atención a los restos de la losa de la terraza del segundo nivel.

Esta etapa deberá contemplar todas las medidas necesarias que garanticen la integridad del equipo de trabajo, verificando la condición de los equipos, herramientas, sistemas de andamios e instalaciones provisionarias.

## **16.3. Tratamiento de muros**

### **16.3.1. Muros exteriores**

Se prestará atención principalmente a los muros de la fachada tanto en primer y segundo piso, ya que en ellos se observan fisuras y grietas de distinta magnitud, y se tratarán de acuerdo al impacto que puedan causar en el desempeño del comportamiento estructural del edificio.

Para esto en primera instancia se deberá realizar el saneado y limpieza de los muros de la fachada, retirando todos los elementos sueltos y con poca adherencia, además mediante un proceso de hidrolavado, se eliminarán los restos de polvo, revestimientos superficiales y pinturas existentes, obteniendo con esto una superficie adecuada para los tratamientos de conservación sugeridos.

Las fisuras superficiales se tratarán mediante la inyección de resinas epoxi, según recomendaciones del fabricante y siguiendo los procedimientos descritos en apartado 12.7. Las grietas de mayor envergadura y que presenten movimiento, serán tratadas mediante el anclaje de grapas, para restaurar la resistencia a la tracción de los muros, siguiendo el procedimiento descrito en apartado 12.7.3, considerando el cálculo y diseño de los refuerzos a utilizar.

Realizados los procedimientos descritos anteriormente, se recomienda hacer un recocado del recubrimiento de hormigón empleando concreto polimérico, dada las prestaciones de este material respecto a su impermeabilidad, reducido espesor, y su resistencia a agentes agresivos.

### **16.3.2. Muros interiores**

Realizadas las acciones descritas en apartado 16.2, se realizará la evaluación de la superficie de los muros de hormigón expuestos, con especial atención en la aparición de fisuras, grietas con movimiento y nidos de piedra.

Las fisuras y grietas se tratarán según se describe en apartado 12.7, en tanto la formación de nidos de piedra, se realizará de acuerdo a lo señalado en apartado 12.5, procurando trabajar sobre una superficie limpia y libre de todo material suelto.

El mortero debe ser correctamente dosificado y con una buena resistencia mecánica, el proceso se ejecutará por capas debidamente compactadas, previa aplicación de un puente de adherencia, asegurando la correcta penetración del material.

Realizadas las intervenciones anteriores, se realizará un recrecido del recubrimiento de hormigón, con concreto polimérico, considerando que el recinto se encuentra a la intemperie, garantizando con esto una protección impermeable y resistente ante los efectos degenerativos del ambiente. El uso de este material dado la eficiencia en bajos espesores, no incorporará cargas excesivas a los muros.

#### **16.4. Tratamiento de pilares**

Todos los pilares de la estructura se tratarán de acuerdo a lo descrito en Fichas de control N°12 y N°17, retirando la totalidad del recubrimiento de hormigón, exponiendo la armadura y evaluando la incorporación de barras de refuerzo, pudiendo considerar el empleo de barras de acero o barras de fibra de carbono, de acuerdo a cálculo previo.

La capa de recubrimiento, dependiendo de la ubicación del elemento, para los pilares que se encuentran protegidos de la intemperie, se podrá restaurar con cemento Portland adicionado con ceniza volante o escoria de alto horno, para los pilares expuestos al ambiente se sugiere el mismo procedimiento y material, finalizando con una última capa de concreto polimérico.

#### **16.5. Tratamiento en losas**

##### **16.5.1. Losa en primer nivel**

Este elemento es el que evidencia un mayor grado de deterioro en toda la estructura analizada. El grado de corrosión de la armadura es importante, situación que impacta en la estabilidad de la estructura, debiendo realizar acciones urgentes para su conservación.

En primer lugar se deberá retirar todo el revestimiento superficial, dejando expuestas las barras de refuerzo, posteriormente se instalarán alzaprimas para losas de hormigón, en cantidad y distribución según cálculo, las que se volverán a instalar concluida la intervención.

Las barras de acero expuestas y corroídas se retirarán previo picado de la superficie a una profundidad adecuada que facilite la extracción, se verificará que el hormigón no presente fisuras o grietas, de ser así, el procedimiento de recuperación será igual a lo descrito en apartado 12.7.1, 12.7.2 y 12.7.3.

La estructura se podrá reforzar con barras de fibra de carbono embebidas en el hormigón a una profundidad adecuada y adherida mediante adhesivo epóxico, según cálculo, se puede considerar además el refuerzo exterior con fibra de carbono textil. Se realizará el recrecido del recubrimiento de hormigón, con concreto polimérico, considerando que el recinto se encuentra a la intemperie, garantizando con esto una protección impermeable y resistente ante los efectos degenerativos del ambiente.

### **16.5.2. Losa en segundo nivel**

Ubicada entre los ejes E y H en el segundo nivel, la estructura corresponde al palco diseñado para el edificio, y cubre la zona de transición hacia el recinto principal.

A ella se accede por dos escaleras situadas en los costados del edificio las que se encuentran en buen estado, solo presentando fisuras superficiales en los muros que la confinan.

Las recomendaciones para su tratamiento y protección, descritas en Ficha N°9, deben realizarse posterior al tratamiento de la cara inferior de este elemento, acciones descritas en apartado 16.5.1, fundamentalmente en lo que respecta a la incorporación de alzaprimas según distribución y calculo previo para transferir las cargas al suelo, liberarla de cargas excesivas estabilizando de esta manera la estructura.

En primer lugar, se deberá retirar todo el material orgánico presente en la superficie, la que deberá quedar libre además de elementos de la estructura que se encuentren sueltos o desprendidos.

La superficie de la losa, el recubrimiento y la continuidad de los muros del primer nivel se sellarán mediante un recrecido del recubrimiento con concreto polimérico, según calculo previo.

La elección de éste material, se debe a sus altas prestaciones en ambientes agresivos, proporcionando impermeabilidad con un bajo espesor, de esta manera no se agregaran cargas importantes que puedan comprometer la estructura.

## **CAPÍTULO XVII: CONCLUSIONES**

### **17.1. Conclusiones de la investigación**

De la investigación realizada presentada en este trabajo de título, se puede concluir lo siguiente:

En zonas costeras, las estructuras de hormigón armado pueden estar sometidas a tres clases de exposición; estructuras sumergidas, estructuras en zonas de salpicadura de mareas, y en exposición aérea, esta última se sitúa por encima de la pleamar y hasta 5km de la línea de la costa.

Para el caso de este trabajo, la investigación se centró en las estructuras de hormigón armado en condiciones de exposición aérea, y la penetración de cloruros hacia el interior de la estructura, proceso que está determinado principalmente por el mecanismo de difusión, fenómeno que influye en el desarrollo del proceso de corrosión de la armadura de refuerzo y en el deterioro del hormigón de recubrimiento.

Las estructuras situadas en zonas costeras expuestas al ambiente marino aéreo, y a una fuente externa de cloruros, deben su durabilidad y vida útil principalmente a la calidad del hormigón de recubrimiento en su condición de barrera física y química protectora del acero de refuerzo en su interior, es por eso que la importancia de un correcto diseño, debe ser motivo de atención constante de los profesionales que participan en este proceso, con objeto de entregar a servicio estructuras con un alto estándar de calidad y serviciabilidad en el tiempo.

Para las estructuras puestas en servicio, la NCh170, 2016 clasifica al ambiente marino aéreo y la acción de cloruros, como una condición de exposición severa, definiendo requisitos de resistencia para la obtención de un hormigón durable para esta clase de exposición, por lo que el apego a lo establecido en el documento, y un proceso de construcción riguroso, son fundamentales para obtener estructuras de calidad.

Aspectos como, el tipo y dosis mínima de cemento, la relación agua/cemento, la elección adecuada de los áridos sean gruesos o finos, y un proceso de curado controlado, permiten conseguir poros de menor tamaño, una red capilar interna poco comunicada y en consecuencia un hormigón de baja permeabilidad, siendo esta característica condición principal para limitar la difusión de cloruros hacia el interior, reduciendo con esto el impacto en el acero de refuerzo ante el desarrollo del proceso de corrosión.

El contenido de agua utilizada en la elaboración del hormigón, es un aspecto determinante en ambientes con presencia de cloruros, ya que mientras menor sea la cantidad de agua utilizada, menor será la permeabilidad a los cloruros.

El empleo de aditivos reductores de agua actúan favorablemente al disminuir el agua de conveniencia utilizada en la elaboración del hormigón, además la incorporación de adiciones, por ejemplo, ceniza volante, aumenta la resistencia del hormigón ante la fijación de cloruros en su superficie, reduciendo de manera efectiva la penetración de ellos hacia el interior de la estructura.

Limitar el movimiento de cloruros al interior del hormigón, es el principal objetivo que se debe controlar para garantizar la durabilidad de las estructuras de hormigón armado y la protección de la armadura de refuerzo frente al proceso de corrosión, por lo que es importante que el recubrimiento de hormigón tenga un espesor adecuado y una reducida permeabilidad, siendo necesario hacer una buena dosificación empleando bajas relaciones agua/cemento, una compactación idónea y un proceso de curado controlado, de esta forma se consiguen poros de menor tamaño y una red capilar poco comunicada.

Evitar además la generación de fisuras y grietas en el hormigón, es fundamental para controlar el deterioro anticipado de las estructuras, en consecuencia si se consideran estas medidas, es posible aumentar la capacidad del hormigón para resistir la acción degenerativa del medio ambiente marino.

Respecto a la influencia del proceso de carbonatación del hormigón, y su efecto en el deterioro de las estructuras en ambiente marino aéreo, no tiene mayor incidencia en comparación con la acción de cloruros, dado que las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el ambiente son menores respecto a zonas industriales o alejadas del borde costero, además la humedad relativa del ambiente es un factor de control de este proceso. Sin embargo, aunque su influencia sea menor, se deben considerar aspectos de diseño del hormigón que aseguren una baja permeabilidad, ya que ante el avance de la carbonatación el contenido de cloruros presenta niveles mayores, dado a la disminución del pH alcalino, barrera química protectora del acero, a rangos inferiores a 9 provocando la pérdida de la condición de pasividad de las barras facilitando el desarrollo de la corrosión.

Dado lo anterior se puede señalar que la durabilidad de las estructuras sometidas a climas costeros, y su comportamiento respecto a las acciones de agentes agresivos del medio ambiente, depende principalmente de la barrera física y química que proporciona el recubrimiento de hormigón a las barras de acero de refuerzo en su interior, por esto resulta fundamental que el hormigón empleado sea diseñado considerando las exigencias del ambiente al cual estará expuesta la estructura.

Por otra parte, un plan de monitoreo de estructuras con más de 50 años de exposición es vital para mantener su vida útil, observar y analizar la evolución de los posibles deterioros que desarrollen las estructuras, permitirá elaborar acciones de tratamiento anticipadas para la conservación, aspecto que se vuelve importante y puede ser considerado como una inversión, ya que los costos de rehabilitar estructuras con un avanzado deterioro, serán necesariamente más altos.

## 17.2. Conclusiones del caso de estudio

Del proceso de inspección y estudio de la estructura analizada se puede concluir lo siguiente:

La condición de la estructura y su avanzado deterioro, se debe principalmente al prolongado estado de abandono desde que dejó de estar en servicio. La falta de mantenimiento y acciones que permitieran su conservación, provocaron que el diseño y arquitectura original, sea por acción sísmica o exposición al medio ambiente, se degenerara al punto de conservar solamente la envolvente perimetral de hormigón armado y estructuras interiores que en la actualidad se encuentran totalmente expuestas a la intemperie y sin protección ante la agresividad de la condición ambiental.

Sin embargo y considerando lo señalado anteriormente, la inspección realizada permitió determinar aspectos relativos a la elección de materiales y al proceso constructivo que pudieron ser factor adicional en comportamiento de la estructura respecto a la condición del acero de refuerzo y al estado de conservación del hormigón ante la acción de los agentes agresivos del ambiente.

Por otra parte la ausencia de una normativa que regulara los requisitos técnicos de elaboración del hormigón, el tipo y distribución de los áridos, y el posible empleo de arena proveniente de la playa, determinaron las características del hormigón de recubrimiento como barrera de protección del acero de refuerzo.

Lo anterior se ve reflejado en la técnica utilizada para el moldaje que contenía el hormigón, el que se confeccionó con piezas individuales de madera unidas entre sí, lo que generó irregularidades en la cara externa del hormigón, además dada la altura de la estructura de 7 mt aproximadamente, el proceso de llenado debió realizarse por etapas, las que no fueron compactadas ni vibradas convenientemente.

Respecto al llenado por etapas, compactación y vibrado de la maza de hormigón, las evidencias de reducidos espesores de recubrimiento para el acero de refuerzo dan cuenta de aquello, situación que se ve reflejada principalmente en la cara inferior de la losa del palco, en donde las barras de refuerzo no se encuentran debidamente embebidas en el hormigón, sea por una mala colocación o por desplazamientos de ellas durante el proceso de llenado, consecuencia de lo anterior, la barrera física de protección del recubrimiento es insuficiente para las condiciones de exposición de la estructura facilitando el deterioro de las barras de acero por el proceso de corrosión.

Este aspecto del proceso constructivo, fue determinante en el resultado del hormigón en su condición de recubrimiento, ya que durante la inspección se pudo observar, nidos de piedra, falta de continuidad de la masa de hormigón, concentraciones irregulares de áridos, y pérdida de lechada entre la unión de los moldajes, dando como

resultado un hormigón susceptible a la penetración de agentes agresivos del ambiente al cual se encuentra expuesta la estructura.

De las características del acero de refuerzo, hay tres aspectos que se pueden señalar, que son resultado del proceso de inspección y del ensayo de carbonatación del hormigón mediante la aplicación de la solución de fenolftaleína.

Tanto en la inspección visual del acero expuesto, como en las perforaciones existentes y las realizadas, se pudo observar el uso de barras lisas de acero de distintos diámetros y distribución dentro del hormigón. El elemento estructural que presenta una lógica apropiada para el refuerzo es la losa interior, sin embargo tanto en pilares como en muros, las perforaciones dan cuenta de la inexistencia de una planificación para la incorporación del refuerzo, pudiendo observar diámetros y cantidad de barras diferentes para el mismo elemento estructural.

En ciertos muros las perforaciones dan cuenta de la incorporación de solo una barra en sentido vertical, esto hace suponer que la estructura de muros debía su estabilidad a la masa de hormigón que podía resistir los esfuerzos de compresión, siendo las losas los únicos elemento de la estructura con un diseño de armadura coherente, ya que debían resistir tracciones por flexión, corte o normales.

Respecto a la condición del acero de refuerzo, la condición de exposición a ambiente marino hacía suponer que los efectos causados por la penetración de cloruros darían como resultado barras con evidencias de pérdida de sección y corrosión localizada. Sin embargo, se pudo observar en la mayoría de los elementos de refuerzo, corrosión generalizada de distinta magnitud.

En elementos de la estructura que presentaban exposición del acero de refuerzo, vigas exteriores, y losas, se pudo observar disminución de la sección del acero, característica de la acción de cloruros, sin embargo la exposición permanente al ambiente, provocó el desarrollo de corrosión generalizada en las barras.

Situación distinta es la que presentan las barras de acero en pilares y muros, en ellos se puede observar corrosión generalizada de distinta magnitud, característica del proceso de carbonatación del hormigón. Sin embargo, tal y como se señaló anteriormente, el proceso constructivo pudo ser determinante en esta condición del acero. La mala compactación y vibrado y sus repercusiones en el resultado de un hormigón disgregado y de baja impermeabilidad, pudo facilitar la difusión de  $\text{CO}_2$  del ambiente, el que avanzó hacia el interior del hormigón, destruyendo la capa pasiva del acero y desarrollando el proceso de corrosión.

Lo anterior se ve reflejado en ensayo realizado en la estructura que arrojó un grado de avance de carbonatación en el hormigón alto y un descenso del pH alcalino por debajo de los rangos que permiten la protección del acero.

Sin embargo, como se señaló anteriormente, no se descarta el uso de arena de playa para la elaboración del hormigón, decisión que tal como se señala en apartado 7.4 y 15.2, pudo incorporar una cantidad adicional de cloruros en la mezcla, y una adición mayor de agua, generando por un parte una distribución no uniforme de cloruros alrededor de la barra, una baja resistencia final y alta permeabilidad del hormigón, debido al exceso de agua para su elaboración.

Respecto al ensayo realizado en las perforaciones para medir el avance de carbonatación del hormigón, los resultados obtenidos indicaron descenso en el pH, y una penetración del frente de avance hacia el interior, alcanzando la armadura de refuerzo.

Esta condición del hormigón , aunque no es propia de la exposición a ambiente marino, puede haber sido facilitada por las características permeables del hormigón producto del proceso constructivo, lo que se puede confirmar por las características de la superficie del recubrimiento, la presencia de nidos de piedra, y falta de compacidad de la mezcla, situación que facilita el ingreso de CO<sub>2</sub> contenido en el ambiente, aunque para las estructuras expuestas a ambiente marino, es un proceso lento y su influencia en el desarrollo de corrosión de las barras es considerablemente menor, dado el contenido de humedad en el ambiente.

SOLO USO ACADÉMICO

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- Neville, A. Tecnología del concreto, primera edición 1999.
- 2.- Tuutti, K. Corrosion of steel in concrete, 1982.
- 3.- Zabaleta, H. Compendio de tecnología del hormigón. Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1988.
- 4.- Manual de patología de la edificación, Tomo 2. Madrid, Agosto 2004.
- 5.- Rondon, C. Manual de armaduras de refuerzo para hormigón, 2005
- 6.- Gerdau AZA S.A. Manual de armaduras de refuerzo para Hormigón. Julio 2005
- 7.- Aportes técnicos 14, técnicas de reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado y albañilerías. Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1985.
- 8.- Bermúdez, M. A (2007) “Corrosion en las armaduras en el hormigón situado en ambiente marino”.
- 9.- Fernández, S. (2006) “Corrosion de armaduras en el hormigón en ambiente marino aéreo”.
- 10.- Manual de reparaciones y refuerzos estructurales. Minvu, febrero 2018
- 11.- NCh148.Of 68,"Cemento, terminología, clasificación y especificaciones generales".
- 12.- NCh 2182.Of 95, “Hormigón y mortero, aditivos, clasificación y requisitos”.
- 13.- NCh 170. 2016, “Hormigón requisitos generales”. (Durabilidad).
- 14.-NCh 1498. Of 82, “Hormigón, agua de amasado, requisitos”.
- 15.- NCh 2262, Of 97, “Determinación de la impermeabilidad al agua”

## ANEXO 1: LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO DEL EDIFICIO

El levantamiento y elaboración del plano de planta del edificio, permitió identificar en ellas las zonas a analizar y su ubicación dentro de la estructura.

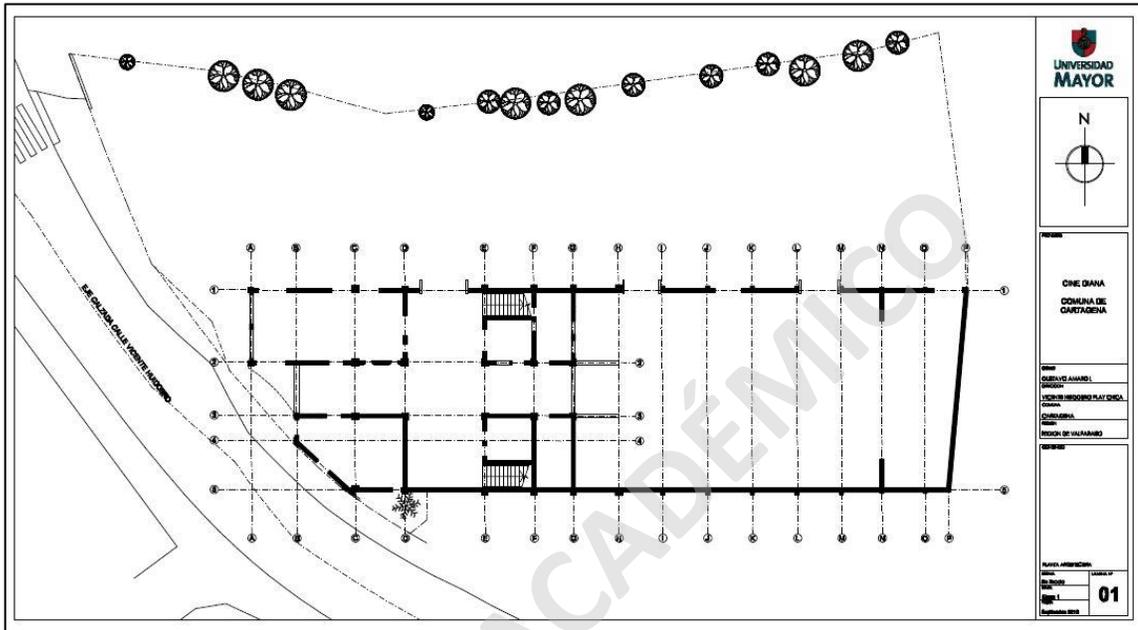


Figura N° 16.- Plano de planta primer nivel de la estructura.

Del levantamiento realizado se puede señalar lo siguiente:

- Superficie construida: 1029,71 m<sup>2</sup>.
- Número de pisos: 2
- Superficie del terreno: 2017,75 m<sup>2</sup>.

## ANEXO 2: PROCESO DE EVALUACIÓN

En este anexo se presentan los registros fotográficos del proceso de inspección del edificio, y que permitieron realizar la evaluación del estado de conservación de la estructura.

Como se indicó anteriormente, este proceso se desarrolló en tres etapas, las que han sido descritas en el Capítulo XIV, Trabajo Experimental.

- Reconocimiento inicial
- Perforación de elementos
- Ensayo de carbonatación

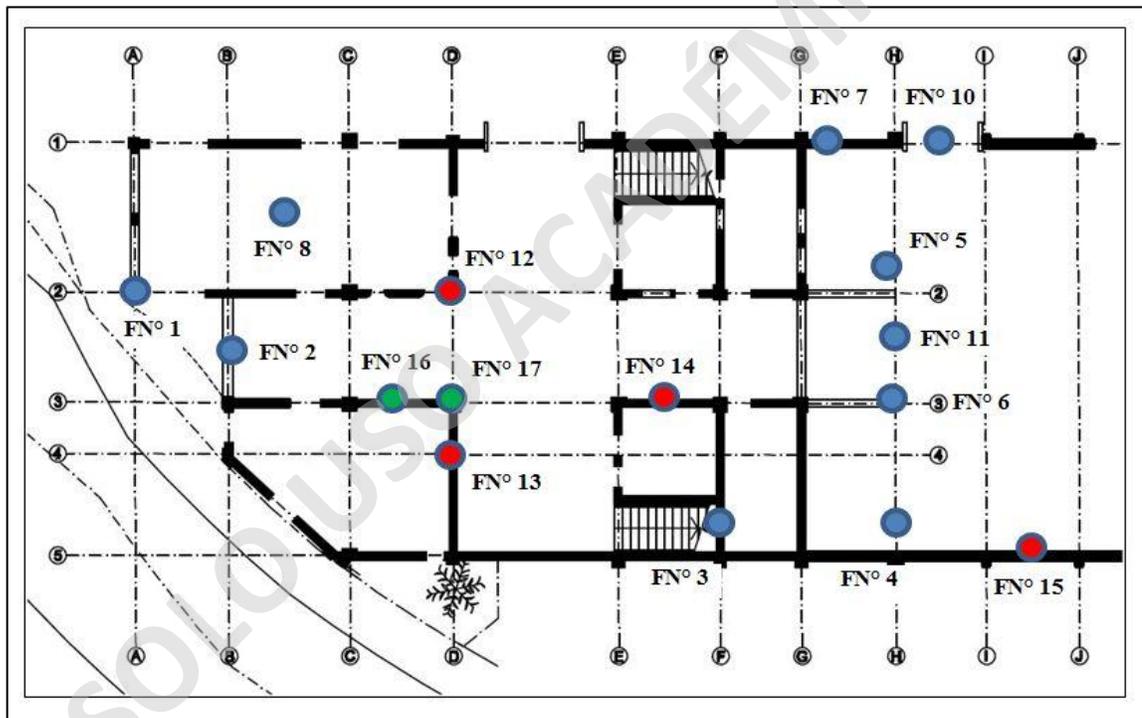


Figura N° 17.- Ubicación de los elementos inspeccionados.

En la figura N° 17, se muestran las zonas de la estructura donde se realizó el proceso de inspección, el registro de este en las fichas de control y el método de evaluación.

- Azul: Inspección visual.
- Rojo: Perforaciones existentes, inspección visual, y ensayo carbonatación.
- Verde: Perforaciones nuevas, inspección visual, y ensayo carbonatación.

**ANEXO 2.1. RECONOCIMIENTO INICIAL**



**Imagen N° 2.- Vista desde Calle Vicente Huidobro**



**Imagen N° 3.- Fachada**



Imagen N° 4.- Vista interior



Imagen N° 5.- Viga exterior



**Imagen N° 6.- Viga exterior en acceso**



**Imagen N° 7.- Losa interior sobre escala**



**Imagen N° 8.- Losa interior**



**Imagen N° 9.- Losa interior**



**Imagen N° 10.- Viga interior**



**Imagen N° 11.- Muro y elementos ornamentales.**



**Imagen N° 12.- Losa interior colapsada.**



**Imagen N° 13.- Losa segundo piso palco.**



**Imagen N° 14.- Revestimientos interiores.**



**Imagen N° 15.- Estuco en palco.**

### ANEXO 2.1.1. PERFORACIONES EXISTENTES



**Imagen N° 16.- Pilar en acceso**



**Imagen N° 17.- Pilar en acceso**



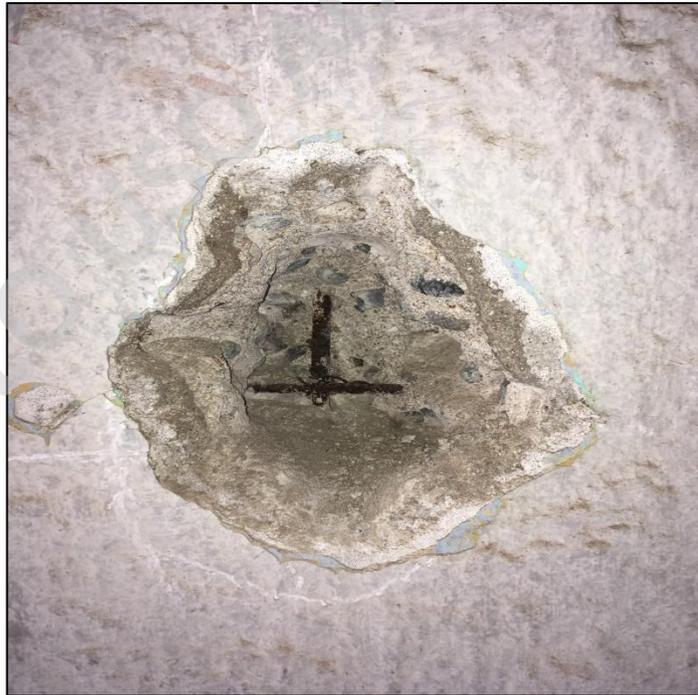
**Imagen N° 18.- Perforación en muro interior**



**Imagen N° 19.- Perforación en muro interior**



**Imagen N° 20.- Perforación en muro interior.**



**Imagen N° 21.- Perforación en muro interior.**



**Imagen N° 22.- Perforación en muro interior**



**Imagen N° 23.- Perforación en muro interior**

## ANEXO 2.2. PERFORACIÓN DE ELEMENTOS

### Equipo utilizado

- Rotomartillo marca DEWALT.  
Modelo D25762K – B2,  
Potencia 1500 W.  
Estado del equipo: Usado y en buen estado.



Imagen N° 24.- Rotomartillo



**Imagen N° 25.- Muro en acceso**



**Imagen N° 26.- Muro en acceso**



**Imagen N° 27.- Pilar en acceso**



**Imagen N° 28.- Pilar en acceso**

## ANEXO 2.3. ENSAYO CARBONATACIÓN

### Implementos utilizados

- FENOLFTALEÍNA al 1%.
- Aspersor
- Huincha de medir
- Medidas de seguridad



Imagen N° 29.- Fenolftaleína y medidas de seguridad

**Consideraciones de uso:**

- a) La solución puede ser aplicada sobre probetas testigo o sobre el elemento de la estructura.
- b) La superficie a analizar debe estar seca, limpia y libre de partículas sueltas.
- c) La solución debe aplicarse mediante pulverización.
- d) El tiempo de espera para la obtención de resultados debe ser de 10 a 20 minutos.
- e) En caso que no se aprecie coloración en el resultado de la prueba, se indicará que el frente de carbonatación ha llegado a nivel de la armadura de refuerzo.
- f) Se medirá en cada elemento la profundidad de carbonatación.

Nota: El desarrollo de todos los procesos de inspección, consideró las medidas de necesarias y adecuadas para su desarrollo seguro.

**Interpretación de resultados:**

- a) Hormigón no carbonatado: Color rojo – púrpura o fucsia. Valores de pH > 12,5.
- b) Hormigón con indicios de carbonatación: Color rosa. Valores de pH entre 12,5 y 10.
- c) Hormigón carbonatado: Hormigón incoloro. Valores de pH < 9.

**ANEXO 2.3.1. ENSAYO EN PERFORACIONES EXISTENTES**

**Procedimiento de ensayo en pilar interior, EJE D - 2**



Procedimiento de ensayo en muro interior, EJE D - 4



Procedimiento de ensayo en muro interior, EJE E - 3



Procedimiento de ensayo en muro exterior, EJE I - 5



## ANEXO 2.3.2. ENSAYO EN PERFORACIONES REALIZADAS

Procedimiento de ensayo en muro interior, EJE C - 3



Procedimiento de ensayo en pilar interior, EJE D - 3



### **ANEXO 3: FICHAS DE CONTROL DE INSPECCIÓN**

En este anexo, se presentarán las fichas de inspección diseñadas para registrar los elementos de la estructura a analizar, su descripción, aspectos relativos a los daños observados y las recomendaciones para su tratamiento y recuperación.

Estas fichas de control, sirvieron como soporte para determinar la situación actual del edificio, y elaborar gestiones de protección y tratamiento de la estructura, las que están descritas en el Capítulo XVI.

La nomenclatura utilizada y que describe la acción realizada en los elementos analizados es la siguiente:

**F N°:** Numero de ficha.

**I.V:** Inspección visual.

**P.E:** Perforación existente.

**P.N:** Perforación nueva.

**E.C:** Ensayo carbonatación.

Además, las fichas de control dan cuenta mediante registro fotográfico, ubicación en plano de los componentes de la estructura analizada, su descripción y recomendaciones.

FICHA DE CONTROL		F N° 1	FECHA	18.08.2018
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN
Interior		Muro		I.V
Exterior	x	Viga	x	P.E
Otro	Fachada	Pilar	x	P.N
Eje planta	A-2	Losa		E.C
		Otro		

**DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO**

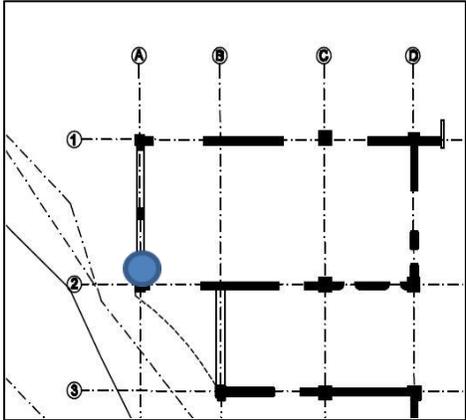
El elemento analizado corresponde al extremo de una viga con encuentro de pilar, con pérdida del recubrimiento, fisuras y grietas con movimiento a lo largo de ella. El acero se encuentra corroído, y cortado en la zona expuesta, además no se aprecia continuidad de la armadura del pilar con la armadura de la viga. Se desconoce la condición de las barras que aún se encuentran embebidas.

**RECOMENDACIÓN GENERAL**

Lo primero que se debe abordar es producir el traspaso de carga entre el pilar y la viga, mediante alzaprímado para dejar sin carga el sector estabilizando así la estructura. Debe retirarse todo el hormigón de recubrimiento, dejando expuestas las barras para verificar su diámetro y condición general, a fin de estudiar un posible reemplazo, recrecido o refuerzo de la armadura con barras de acero o de fibra de carbono. El recrecido del hormigón deberá garantizar una impermeabilidad adecuada.

**FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA**





FICHA DE CONTROL		F N° 2	FECHA	18.08.2018	
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN	
Interior		Muro		I.V	x
Exterior	x	Viga	x	P.E	
Otro		Pilar		P.N	
Eje planta	B-2	Losa		E.C	
		Otro			

**DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO**

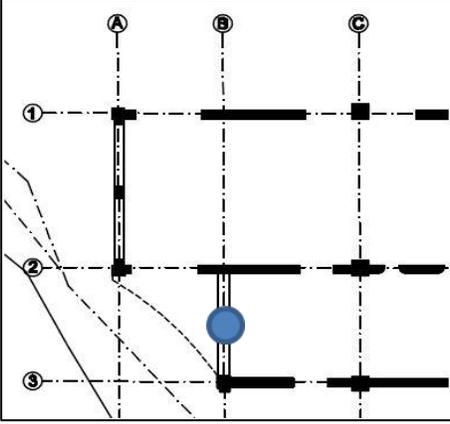
El elemento analizado corresponde a una viga de hormigón armado en acceso y que soporta el voladizo de la terraza en segundo nivel, con pérdida local de recubrimiento de hormigón, observándose fracturas y alteración de su geometría. Se observa envigado de madera como estructura colaborante con terraza superior. El acero se encuentra parcialmente expuesto, corroído y sin variación en su sección.

**RECOMENDACIÓN GENERAL**

Se deberá retirar todo el recubrimiento de las barras y el revestimiento bajo las vigas. Esto permitirá conocer el estado del acero de refuerzo, verificar su diámetro y su condición general, se podrá considerar reforzar la armadura con barras de acero o mediante la incorporación de barras de fibra de carbono. El hormigón de recubrimiento se restaurará, por capas y en una superficie limpia y libre de partículas sueltas debiendo garantizar una adecuada impermeabilidad.

**FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA**

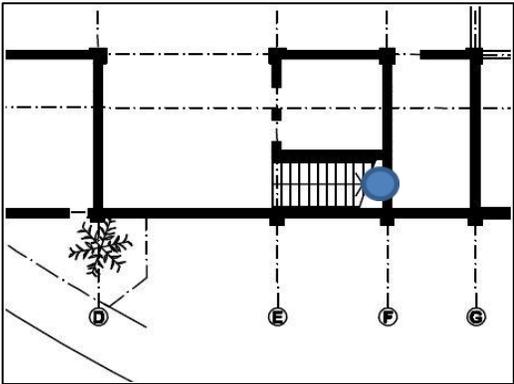




FICHA DE CONTROL		F N° 3	FECHA	18.08.2018	
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN	
Interior	x	Muro	x	I.V	x
Exterior		Viga		P.E	
Otro		Pilar		P.N	
Eje planta	F-5	Losa	x	E.C	
		Otro			

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
<p>El elemento analizado, corresponde al encuentro del antepecho en palco de segundo nivel con losa sobre caja de escala.</p> <p>Se observa pérdida de recubrimiento de hormigón en vértice de encuentro de elementos con exposición de barra de refuerzo, la que presenta corrosión.</p> <p>La superficie del hormigón, en general se observa en buen estado, solo presentando fisuras superficiales, sin compromiso de la estructura y sin daños de importancia</p>

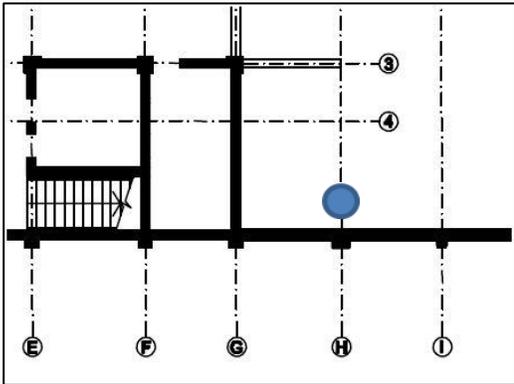
RECOMENDACIÓN GENERAL
<p>Se deberá retirar el recubrimiento tanto en la superficie vertical, como sobre la escala procurando que no queden elementos sueltos, se analizarán las fisuras verificando si penetran hacia el interior del hormigón.</p> <p>Respecto al acero de refuerzo, se verificara el diámetro y el grado de corrosión, para evaluar la incorporación de barras de acero o barras de fibra de carbono, adicionalmente se podrá considerar refuerzo exterior con fibra de carbono textil, según cálculo.</p>

FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN ENPLANTA
 

FICHA DE CONTROL		F N° 4	FECHA	18.08.2018
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN
Interior	x	Muro		I.V
Exterior		Viga	x	P.E
Otro		Pilar		P.N
Eje planta	H-5	Losa	x	E.C
		Otro		

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
<p>El elemento analizado corresponde al encuentro de antepecho en palco, con losa en volado en primer nivel.</p> <p>Se observa exposición total de la armadura de refuerzo y desprendimiento del recubrimiento de hormigón, con riesgo de continuar deteriorándose.</p> <p>Las barras de refuerzo, que unen el extremo de la losa con el antepecho presentan un alto grado de corrosión generalizada y con pérdida de sección.</p>

RECOMENDACIÓN GENERAL
<p>Se deberá resolver el grave problema de corrosión de la armadura. En primer lugar se retirará el recubrimiento superficial, exponiendo la superficie del hormigón con especial atención en la presencia de fisuras y grietas que penetren hacia el interior. El acero corroído se retirará, para estudiar el refuerzo mediante la incorporación de barras de acero o de fibra de carbono, según cálculo, y la restitución del hormigón recubrimiento con cemento Portland con adiciones, o con concreto polimérico.</p>

FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA
 

FICHA DE CONTROL		F N° 5	FECHA	18.08.2018
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN
Interior	x	Muro		I.V
Exterior		Viga		P.E
Otro		Pilar		P.N
Eje planta	H-2	Losa	x	E.C
		Otro		

**DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO**

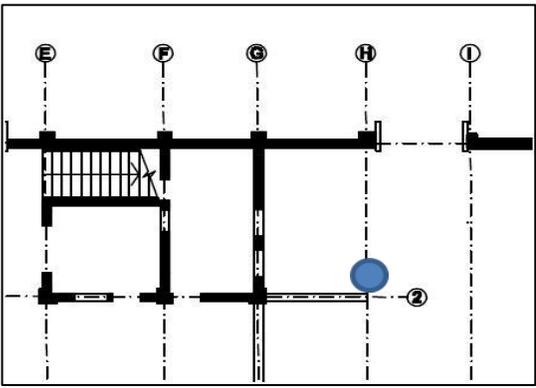
El elemento analizado corresponde a la cara inferior de la losa del palco de 2do nivel. Se observa desprendimiento parcial del recubrimiento de hormigón de espesor no mayor a 2cm, con exposición localizada del acero de refuerzo, con avanzado grado de corrosión y disminución de sección. En el hormigón se observan nidos de piedra, cavidades, y delaminación superficial, sin evidencia de grietas que penetren hacia el interior.

**RECOMENDACIÓN GENERAL**

Se deberá retirar todo el recubrimiento superficial de la estructura, con objeto de verificar la presencia de fisuras o grietas con penetración hacia el interior del hormigón. Se deberá alzaprimar la estructura, y picar la superficie que presente nidos y cavidades, exponiendo completamente la armadura de refuerzo, para evaluar el refuerzo de la losa con barras de fibras de carbono. Además se podrá reforzar exteriormente con fibra de carbono textil, y restaurar el recubrimiento con concreto polimérico.

**FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA**

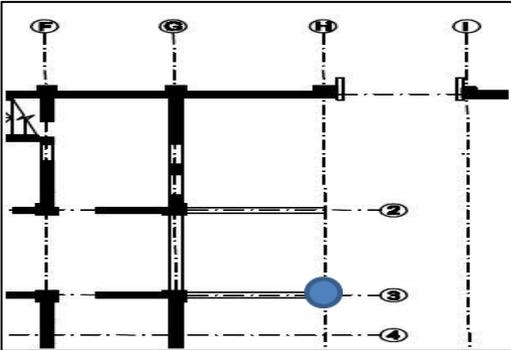




FICHA DE CONTROL		F N° 6	FECHA	18.08.2018
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN
Interior	x	Muro		I.V
Exterior		Viga	x	P.E
Otro		Pilar		P.N
Eje planta	H-3	Losa		E.C
		Otro		

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
<p>El elemento analizado corresponde a una de las dos vigas que soportan la losa del palco del segundo nivel, se observa pérdida del revestimiento superficial y grietas en la cara inferior de la viga.</p> <p>El acero de refuerzo tiene continuidad estructural con un pilar en muro, se encuentra protegido por el recubrimiento de hormigón, desconociendo su profundidad y si presentan algún grado de corrosión, no hay señales de exposición de las barras a corto plazo. El elemento se encuentra en buenas condiciones geométricas.</p>

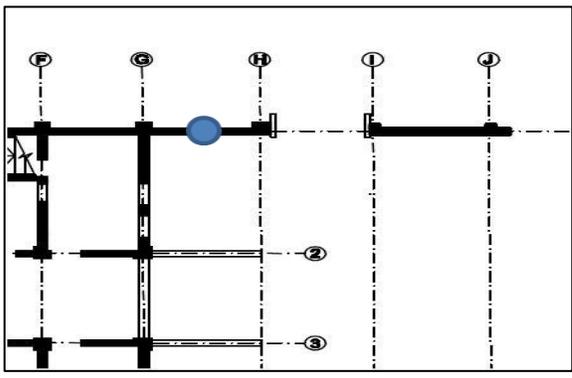
RECOMENDACIÓN GENERAL
<p>Dado que este elemento es un componente estructural soportante de la losa del palco el tratamiento sugerido, y considerando que no hay exposición de armadura, es Reforzar exteriormente la estructura con fibra de carbono textil y posteriormente Restaurar el recubrimiento con concreto polimérico, por su resistencia al ambiente, otorgando altas prestaciones con espesor reducido sin agregar carga adicional.</p>

FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA
 

FICHA DE CONTROL		F N° 7	FECHA	18.08.2018
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN
Interior	x	Muro	x	I.V
Exterior		Viga		P.E
Otro		Pilar		P.N
Eje planta	H-1	Losa		E.C
		Otro		

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
<p>El elemento analizado corresponde a un muro perimetral con orientación Norponiente en primer nivel, y confinado por pilares cada 3 mt.</p> <p>El revestimiento superficial del muro de hormigón presenta una grieta que recorre diagonalmente y que aparentemente penetra en el muro de hormigón.</p> <p>En la base del muro se observa eflorescencia lo que hace suponer que el acero en el interior se encuentra corroído.</p>

RECOMENDACIÓN GENERAL
<p>En este elemento se deberá prestar atención a la grieta y su influencia en el hormigón. Para esto se deberá retirar el recubrimiento y evaluar la condición del muro.</p> <p>En caso de que la grieta penetre el muro de hormigón se podrá considerar la costura de ella mediante el anclaje de grapas adheridas con mortero epoxi, según cálculo.</p> <p>Se sugiere restaurar el revestimiento mediante una capa de concreto polimérico dado que el recinto se encuentra a la intemperie y expuesto al ambiente marino.</p>

FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA	
	

FICHA DE CONTROL	F N° 8	FECHA 18.08.2018
UBICACIÓN	ELEMENTO	TIPO DE INSPECCIÓN
Interior x Exterior Otro Eje planta	Muro Viga Pilar Losa x Otro Recinto	I.V x P.E P.N E.C

**DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO**

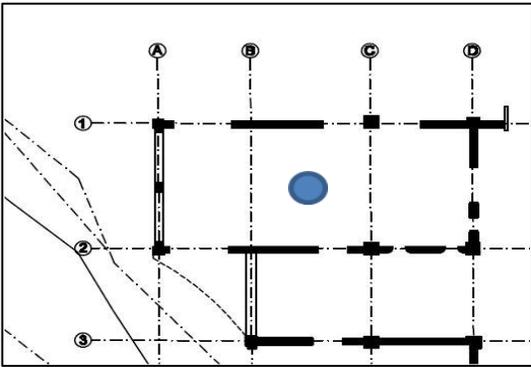
Recinto con fachada a calle Vicente Huidobro, completamente colapsado. Los muros perimetrales dan cuenta de la existencia de un envigado de madera en primer nivel sobre el cual aparentemente tenía como revestimiento entramado de madera. En tanto las perforaciones superiores también dan cuenta de una estructura de vigas de madera para estructurar el cielo interior. Sobre esta estructura se observan restos de una losa de hormigón armado, que servía de terraza. La condición es daño total.

**RECOMENDACIÓN GENERAL**

El recinto de deberá reconstruir completamente. Respetando el diseño original, no obstante la elección de los materiales y el proceso de reconstrucción deberá considerar aspectos de diseño y cálculo específico respecto a la condición de exposición de la estructura, y dosificaciones del hormigón de acuerdo a norma y la incorporación de adiciones especiales, armadura de refuerzo según calculo y recubrimientos impermeables.

**FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA**

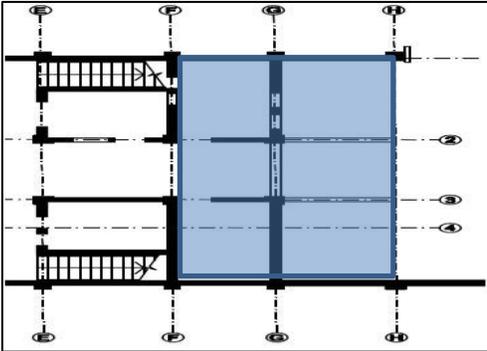




FICHA DE CONTROL	F N° 9	FECHA 18.08.2018
UBICACIÓN	ELEMENTO	TIPO DE INSPECCIÓN
Interior Exterior x Otro 2do Nivel Eje planta	Muro Viga Pilar Losa x Otro	I.V P.E P.N E.C

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
<p>El elemento corresponde a la losa del palco en el segundo nivel.</p> <p>Se observa un daño producto de la exposición a la intemperie con pérdida del recubrimiento en su superficie, sedimentos y aparición de malezas.</p> <p>No se observan fisuras o grietas importantes en la superficie de la estructura, como tampoco en los muros que confinan la escalera.</p> <p>Los muros desde el primer nivel que confinan la escalera, de 80 cm de altura desde el nivel del recubrimiento de la losa, están en regular estado de conservación.</p>

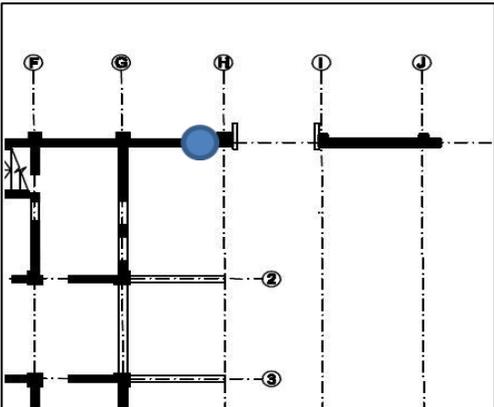
RECOMENDACIÓN GENERAL
<p>Antes de intervenir en este elemento, se deberán realizar las acciones descritas en la Ficha N° 5, respecto a la instalación de alzaprimas. Luego se deberá despejar la superficie de malezas y restos orgánicos para realizar la intervención sobre una superficie limpia y libre de elementos desprendidos. Se sugiere impermeabilizar la losa y muros, para posteriormente realizar un recrecido del recubrimiento con concreto polimérico sin retirar el recubrimiento existente.</p>

FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA
 

FICHA DE CONTROL		F N° 10	FECHA	18.08.2018
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN
Interior	x	Muro	x	I.V
Exterior		Viga		P.E
Otro		Pilar		P.N
Eje planta	H-1	Losa		E.C
		Otro		

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
<p>El elemento analizado, corresponde al revestimiento del muro perimetral de hormigón compuesto por placas de cemento de aproximadamente 5 cm de espesor las que se encuentran débilmente adheridas a la superficie del muro y con riesgo de desprenderse. Se puede observar restos del mortero de pega en la superficie del muro de hormigón, que dan cuenta de una deficiente unión de ambos elementos.</p>

RECOMENDACIÓN GENERAL
<p>Se deberá retirar todo el recubrimiento de la superficie del muro de hormigón. Además los restos de mortero utilizado se retirarán, procurando obtener una superficie lisa y limpia, que permita dejar expuesta la superficie del hormigón con objeto de verificar su condición y la presencia de fisuras o grietas. Se podrá ejecutar recrecido del recubrimiento, con concreto polimérico, procurando cubrir la superficie incluyendo la coronación del muro y parte de su cara exterior.</p>

FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA	
	

FICHA DE CONTROL		F N° 11	FECHA	18.08.2018	
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN	
Interior	x	Muro	x	I.V	x
Exterior		Viga		P.E	
Otro		Pilar		P.N	
Eje planta	H-2	Losa	x	E.C	
		Otro			

**DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO**

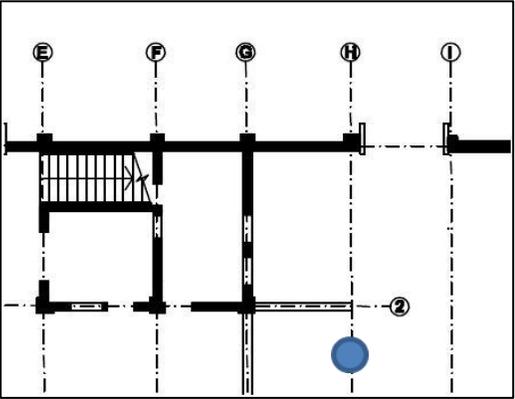
El elemento analizado, corresponde al antepecho de la losa del palco del segundo nivel. El estado del hormigón de recubrimiento como barrera física para el acero es adecuado, sin fisuras ni grietas, lo que mantiene al acero protegido, pero sin poder evaluar si ha desarrollado algún proceso de corrosión. Solo se observa pérdida del recubrimiento superficial del muro, y algunas fisuras en capas que aún se encuentran adheridas, sin evidencia de penetración hacia el interior.

**RECOMENDACIÓN GENERAL**

Considerando que no hay exposición de la armadura de refuerzo, se deberá retirar todo el revestimiento, exponiendo la superficie del hormigón, evaluando la existencia de fisuras o grietas en las zonas descubiertas. Dado que elemento tiene continuidad estructural con la losa del palco, y las vigas de apoyo, se sugiere, un recrecido con concreto polimérico, así todos los componentes de esta estructura recibirán el mismo tratamiento de protección.

**FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA**





FICHA DE CONTROL		F N° 12	FECHA	08.09.2018	
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN	
Interior	x	Muro		I.V	x
Exterior		Viga		P.E	x
Otro		Pilar	x	P.N	
Eje planta	D-2	Losa		E.C	x
		Otro			

**DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO**

El elemento analizado corresponde a un pilar en la zona de transición hacia el interior del recinto. En él se pudo observar una intervención existente, y que aparentemente estaba orientada a registrar el espesor del recubrimiento y las características y estado del acero de refuerzo. En ese sentido se observa un espesor de recubrimiento de 10 cm y barras de refuerzo principales de diámetro 10mm, y barras secundarias de diámetro 6mm, con corrosión y sin pérdida de sección. Se realizó ensayo de carbonatación.

**RECOMENDACIÓN GENERAL**

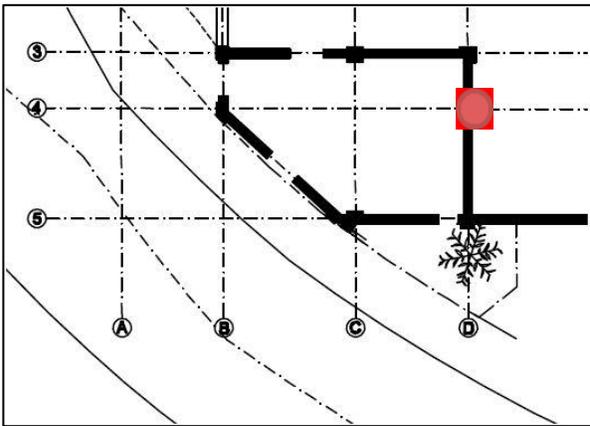
Se sugiere el retiro de la totalidad del recubrimiento de hormigón, ya que según el resultado de carbonatación el avance ha alcanzado la profundidad a la que se encuentra la armadura. De ser necesario se evaluará la incorporación de armadura de refuerzo de acero o barras de fibra de carbono. Posteriormente se restaurará el recubrimiento con capas de cemento Portland con adiciones, finalizando con una capa final de concreto polimérico.

**FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA**

FICHA DE CONTROL		F N° 13		FECHA 08.09.2018		
UBICACIÓN			ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN	
Interior	x	Muro	x	I.V	x	
Exterior		Viga		P.E	x	
Otro		Pilar		P.N		
Eje planta	D-4	Losa		E.C	x	
		Otro				

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	
<p>El elemento corresponde a un muro interior el cual fue intervenido anteriormente. Se observa un espesor de recubrimiento de 10cm, y una barra de refuerzo de diámetro 8mm, en sentido vertical, sin evidencia de otros elementos que actúen como refuerzo. La barra se encuentra corroída, sin pérdida de sección y convenientemente adherida al hormigón. Se realizó ensayo de carbonatación.</p>	

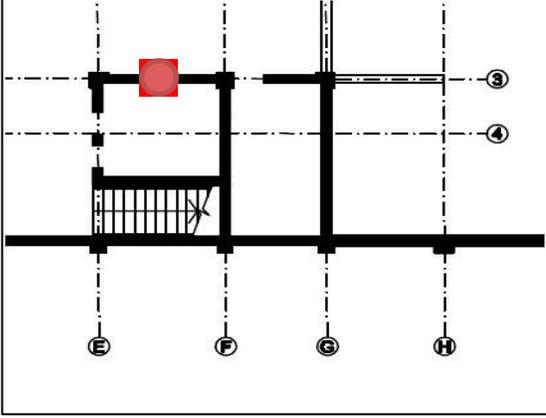
RECOMENDACIÓN GENERAL	
<p>Se deberá retirar todo el revestimiento superficial, dejando expuesta la superficie del muro de hormigón. La perforación realizada, se cubrirá por capas con cemento Portland con adiciones debiendo limpiar adecuadamente la cavidad la que recibirá un puente de adherencia previo al sellado de la perforación. El recubrimiento total de la capa retirada se realizará con concreto polimérico, dosificado adecuadamente para obtener una alta impermeabilidad.</p>	

FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA	
	

FICHA DE CONTROL		F N° 14	FECHA	08.09.2018	
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN	
Interior	x	Muro	x	I.V	
Exterior		Viga		P.E	x
Otro		Pilar		P.N	
Eje planta	E-3	Losa		E.C	x
		Otro			

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
<p>El elemento analizado corresponde a un muro interior intervenido anteriormente. Se observa recubrimiento de hormigón de 5cm.</p> <p>En general el muro se encuentra en buenas condiciones, sin grietas ni fisuras. El acero de refuerzo tiene un diámetro de 8mm, y 6mm y se encuentra con signos de corrosión, y picaduras que generaron pérdida parcial de sección.</p> <p>Se realizó ensayo de carbonatación.</p>

RECOMENDACIÓN GENERAL
<p>Se retirará todo el revestimiento superficial dejando expuesta la superficie de hormigón. La perforación se cubrirá por capas con cemento Portland con adiciones, considerando previamente su correcta limpieza, y aplicación de un puente de adherencia.</p> <p>El recubrimiento de la capa superficial de revestimiento retirada, se restituirá con concreto polimérico, dosificado adecuadamente para obtener alta impermeabilidad.</p>

FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA	
	

FICHA DE CONTROL		F N° 15	FECHA	08.09.2018	
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN	
Interior		Muro	x	I.V	x
Exterior	x	Viga		P.E	x
Otro		Pilar		P.N	
Eje planta	I-5	Losa		E.C	x
		Otro			

**DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO**

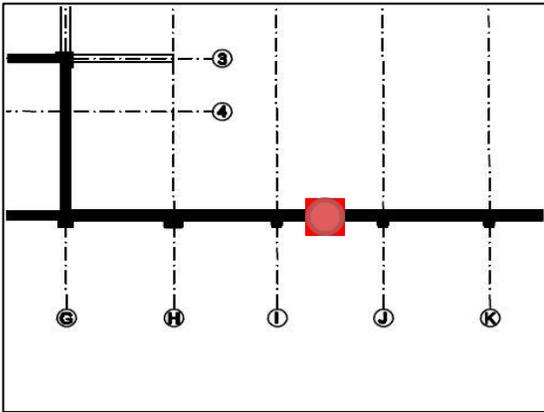
El elemento analizado corresponde a un muro interior intervenido anteriormente. Se observa una barra de acero de 8mm de diámetro, la que se encuentra en estado de corrosión moderado, sin pérdida de sección. El estado general de la armadura y su distribución al interior del hormigón se desconoce no pudiendo evaluar su condición general, dado que la perforación expone solo una barra en la vertical. El hormigón no presenta fisuras o grietas, se realizó ensayo de carbonatación.

**RECOMENDACIÓN GENERAL**

Se deberá retirar todo el recubrimiento superficial en toda la extensión del muro para evaluar posibles fisuras o grietas con movimiento.  
 La perforación realizada se limpiará y cubrirá por capas con cemento Portland con adiciones, aplicando previamente un puente de adherencia.  
 El recubrimiento superficial retirado, se restituirá con concreto polimérico, dosificado adecuadamente, sobre una superficie limpia libre de partículas sueltas.

**FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA**





FICHA DE CONTROL		F N° 16	FECHA	15.09.2018
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN
Interior	x	Muro	x	I.V
Exterior		Viga		P.E
Otro		Pilar		P.N
Eje planta	C-3	Losa		E.C
		Otro		

**DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO**

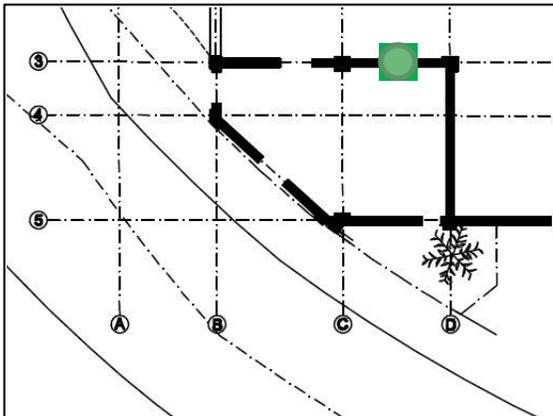
El elemento analizado corresponde a un muro en la transición hacia el interior. En él se realizó una perforación que apunta a conocer el estado del acero y el espesor del recubrimiento. Se pudo observar irregularidad en la distribución y tamaño de los áridos empleados. La condición del muro es buena, sin grietas ni fisuras. El acero de refuerzo presenta corrosión moderada sin pérdida de sección y convenientemente adherido al hormigón. Se realizó ensayo de carbonatación.

**RECOMENDACIÓN GENERAL**

Se retirara toda la capa de recubrimiento superficial dejando expuesto el muro de hormigón, aunque no se observaron fisuras en el recubrimiento superficial, se verificará la condición del muro, con atención en posibles nidos en su superficie y algún signo de fisuras o grietas. La perforación se cubrirá con cemento Portland con adiciones, y un puente de adherencia previo. El recubrimiento retirado se restituirá con concreto polimérico.

**FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA**





FICHA DE CONTROL		F N° 17	FECHA	15.09.2018	
UBICACIÓN		ELEMENTO		TIPO DE INSPECCIÓN	
Interior	x	Muro		I.V	x
Exterior		Viga		P.E	
Otro		Pilar	x	P.N	x
Eje planta	D-3	Losa		E.C	x
		Otro			

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO
<p>El elemento analizado corresponde a un pilar en la transición hacia el interior. En él se realizó una perforación que apunta a conocer el estado del acero y el espesor del recubrimiento, el elemento no presenta fisuras ni grietas. Se pudo observar acero de refuerzo liso de diámetro 16mm, levemente corroído y convenientemente adherido al hormigón. Se realizó ensayo de carbonatación.</p>

RECOMENDACIÓN GENERAL
<p>Se sugiere el retiro de todo el recubrimiento de hormigón, ya que según el resultado de carbonatación el avance ha alcanzado la profundidad a la que se encuentra la armadura. Se evaluará la incorporación de barras de refuerzo sean de acero o barras de fibra de carbono. Posteriormente se restaurará el recubrimiento con capas de cemento Portland con adiciones, finalizando con una capa final de concreto polimérico.</p>

FOTOGRAFÍA Y UBICACIÓN EN PLANTA	
	