

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**CAUSAS Y EFECTOS DE LOS DAÑOS ESTRUCTURALES  
DEL EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO FUNDESO, UBICADO  
EN LA AVENIDA 5 DE JULIO, PUERTO LA CRUZ, EDO.  
ANZOATEGUI.**

REALIZADO POR

**SERRANO MILLÁN, JOHANNYS DEL VALLE.  
SILVA RODRÍGUEZ, ELSA MARÍA.**

Trabajo presentado ante la Universidad de Oriente como requisito  
parcial para optar por el título de:

**INGENIERO CIVIL**

Barcelona, Marzo de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**CAUSAS Y EFECTOS DE LOS DAÑOS ESTRUCTURALES  
DEL EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO FUNDESO, UBICADO  
EN LA AVENIDA 5 DE JULIO, PUERTO LA CRUZ, EDO.  
ANZOATEGUI.**

**ASESOR**

Prof. Blas Octavio Pinto G.

---

Barcelona, Marzo de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**CAUSAS Y EFECTOS DE LOS DAÑOS ESTRUCTURALES  
DEL EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO FUNDESO, UBICADO  
EN LA AVENIDA 5 DE JULIO, PUERTO LA CRUZ, EDO.  
ANZOATEGUI.**

**CALIFICACIÓN**

---

Prof. Blas Octavio Pinto G.

**Asesor Académico**

---

Prof. Juan Félix Díaz

**Jurado Principal**

---

Prof. Luigi Cotellessa

**Jurado Principal**

Barcelona, Marzo de 2010

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajo de grado: “Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participará el Consejo Universitario”.

## DEDICATORIA

A mis padres (Odalís y José) a quienes les debo todo en esta vida.

A mis hermanitos (Jorleen, Deividson y Omaidalys) a quienes amo y siempre han estado conmigo.

A mis primos, tíos y abuelos.

A mis amigos, en especial a los Gosamochfu<sup>2</sup>, quienes fueron mis primeros amigos de uni y luego se convirtieron en mis amigos de vida. Lo logramos.

Serrano Millán, Johannys Del Valle.

A mi Madre Wildas Rodríguez mi héroe, nunca decaíste a pesar de los problemas, gracias por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, esto es para ti madre, lo logramos. Te amo.

A mi Padre Freddy Silva, a pesar de todo nunca me abandonaste, siempre estas allí para mí. Viste lo logre. Te amo.

A mis Abuelas Elsa Lunar y María Guarache, mujeres de mucho valor, son un ejemplo para mí.

A mi Tío- Padrino Carlos Silva, tu pusiste muchos granos de arena para que esto fuese posible, esto también es para ti (papá 2).

A mi Prima-Hermana Daycar Silva, que sé que por este logro está feliz por mi y siempre me está cuidando desde el cielo. Te quiero un montón prima.

Silva Rodríguez, Elsa María

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y a la Virgen Del Valle, a quienes siempre acudiré en las buenas y en las malas.

A ustedes familia (mami, papi, manito, morecito, gordo y oma) sin ustedes no soy nada. Sin ustedes esto no hubiese sido posible, son y serán mi sostén. Los amo.

A mi querida amiga Elsa María (mi patico), gracias por soportarme y por acompañarme durante bastante tiempo en mi carrera, vida y obvio esta tesis. Espero lo sigas haciendo.

A vane quien siempre ha estado allí, para aconsejarme, apoyarme. Te quiero mucho ami.

A mi Cruz, por quererme, escucharme y por su confianza, gracias a él salió este tema.

A ti mi amigo Weffe, porque sé que siempre contare contigo para lo que sea.

A mis muchachas; Ros, Clau, Laurita, Yure, Naiber, Astrid e Indira, son lo máximo cada una tiene y tendrá un espacio muy grande en mi vida, se que valen mucho. Gracias a ustedes aprendí a llorar, a querer y tuve lindos momentos, los cuales espero seguir teniendo.

A mis muchachos; Alvaro, Chuo, David, Luis y Henry Luis, quienes no solo pusieron un granito de arena sino un camión, para construir y modelarme como la persona que soy.

A mis primos (Gordo, Vanessa, Alexis, Manuel) y a mi pana Alberto por ser mi cuadrilla exploratoria.

Serrano Millán, Johannys Del Valle.

A Dios y a mi Virgen Del Valle que siempre me han cuidado.

A mis Padres a los cuales adoro, sin ellos esto no hubiese sido posible.

A mi Tío- Padrino Carlos Silva, sin su apoyo no sé donde estaría.

A mis Primos-Hermanos Carlos David Silva y Daycar Silva, por siempre estar conmigo en buenos y malos momentos.

A mi tía Daisy Marcano, por aconsejarme y estar allí para mí.

A mi súper amiga y compañera Johannys Serrano (momis), por soportar todas mis pataletas y alentarme siempre que todo me salía mal, siempre que me caía me daba ánimos para levantarme, te quiero un monto amiga.

A mi amiga Orlina Rivas, mi primera amiga que tuve en la universidad.

A Cruz Quijada (luke), sin ti querido amigo no hubiésemos logrado la meta.

A mis amigos Gosamochfu<sup>2</sup> (Clau, Chuo, Vane, Momis, David), por ser y estar siempre conmigo, gracias a ustedes mis días en la universidad fueron EXCELENTES.

A mis compañeros de estudios y amigos (Weffe, Naiber, Yure, Rosmar, Alvaro, Luis, Astrid, Laura), gracias por estudiar conmigo y ser mis panas. Los quiero.

Al Sr. José y la Sra. Odalis (paitos momis), mis padres adoptivos,  
gracias por adoptarme todo ese tiempo en su casa.

A la Familia Serrano Millán (Jorleen, Deivi, Gordo, Vane, Manuel).

Al pana Alberto ayudante de nuestro pelotón.

Silva Rodríguez, Elsa María

También queremos agradecerle a:

Nuestro asesor académico (Blas Pinto); quien nos prestó toda su colaboración y orientó durante este proceso.

Gianna, Deli y Sara. Nuestras compañeras de tesis (LAS FIERAS).

Ing. Roberto Armas.

Prof. Anna Álvarez.

Centro de investigaciones tecnológicas de oriente (CITO).

Y por último a la Universidad de Oriente (UDO); ya que nos dejó no solo conocimientos sino que, nos enseñó a llorar, reír y lo más importante de todo nos dejó unos GRANDES AMIGOS.

Serrano Millán, Johannys Del Valle y Silva Rodríguez, Elsa María

## **NOMENCLATURA DE NORMAS**

C.O.V.E.N.I.N Comité Venezolano de Normas Industriales

C.E.G. Comité Europeo del Concreto

A.S.T.M. American Standard of Testing Materials. (Asociación Americana para el Ensayo de Materiales)

A.C.I. Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute)

# CONTENIDO

<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>VII</b>
<b>NOMENCLATURA DE NORMAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>XXI</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>XXVIII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XXIX</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>30</b>
<b>EL PROBLEMA</b> .....	<b>30</b>
1.1. GENERALIDADES .....	30
1.2. ANTECEDENTES.....	32
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	34
1.3. OBJETIVOS.....	35
1.3.1. <i>Objetivo General:</i> .....	35
1.3.2. <i>Objetivos Específicos:</i> .....	36
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>37</b>
<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	<b>37</b>
2.1. ASPECTOS GENERALES DE LA PATOLOGÍA ESTRUCTURAL: .....	37
2.1.1. <i>Definición:</i> .....	37
2.1.2. <i>Antecedentes de la patología estructural:</i> .....	37
2.1.3 <i>Importancia de la patología estructural:</i> .....	39
2.2. PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS DEL CONCRETO ARMADO: .....	40
2.2.1. <i>Cementos:</i> .....	40

2.2.2. Áridos:	40
2.2.3. Agua:	40
2.2.4. Aditivos:	41
2.2.5. Aire:	41
2.2.6. Refuerzo del acero:	41
2.3. PATOLOGÍA DEL CONCRETO ARMADO	42
2.3.1. <i>Compacidad:</i>	42
2.3.1.1. Relación árido-cemento:	42
2.3.1.1.1. Granulometrías adecuadas:	42
2.3.1.2. Dosificación del cemento:	43
2.3.1.3. Dosificación agua-cemento:	43
2.3.1.4. Aire ocluido:	44
2.3.2. <i>Corrosión del concreto armado:</i>	45
2.3.2.1. Por Gases atmosféricos:	45
2.3.2.2. Por agua:	45
2.3.2.3. Por compuesto orgánicos:	45
2.3.3. <i>Mecanismos de corrosión de las armaduras:</i>	46
2.3.3.1. Corrosión electroquímica:	46
2.3.3.1.1. Esquema del proceso de corrosión de las armaduras. [2]:	47
2.3.3.1.2. Diagramas de Pourbaix:	48
2.4. MECANISMOS DE CORROSIÓN EN EL CONCRETO:	49
2.4.1. <i>Carbonatación:</i>	50
2.4.1.1. Técnica para determinar la presencia o no de carbonatación en el concreto:	53
2.4.1.1.1. Técnica de la fenoltaleína:	53
2.4.1.1.2. Técnica electroquímica:	55
2.4.1.1.3. Técnica de corrosión acelerada:	55
2.4.1.1.4. Técnica de realcalinización:	57
2.4.2. <i>Cloruros:</i>	58
2.5. DETERIORO FÍSICO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO:	66
2.5.1. <i>Factores que afectan la calidad del concreto:</i>	66
2.5.3. <i>Agrietamiento:</i>	68
2.5.3.1. Causas de agrietamiento:	68
2.5.3.1.1. Retracción:	68
2.5.3.1.1.1. Retracción hidráulica:	68
2.5.3.1.1.2. Retracción térmica:	69
2.5.3.1.2. Entumecimiento:	70

2.5.3.1.3. Variaciones de temperaturas:.....	70
2.5.3.1.4. Exceso de carga:.....	71
2.5.3.1.5. Asentamientos:.....	71
2.5.1.2.6. Por acciones mecánicas:.....	72
2.5.3.1.7. Fisuras por compresión:.....	72
2.5.3.1.8. Fisuras por flexión:.....	73
2.5.3.1.9. Fisuras por corte:.....	74
2.5.3.1.10. Fisuras por torsión:.....	75
2.5.3.1.11. Fisuras por tracción:.....	76
2.5.3.1.12. Fisuras causadas por sismos:.....	76
2.5.3.1.13. Fisuras causadas por errores del proyecto.....	77
2.5.3.1.14. Debidas a la ejecución.....	78
2.5.3.1.15. Fisuras debidas a problemas del propio concreto:.....	78
<b>2.5.4. Tipos de fisuras:.....</b>	<b>78</b>
2.5.4.1. Microfisuras:.....	79
2.5.4.2. Fisuras:.....	80
2.5.4.3. Fisuras vivas:.....	80
2.5.4.4. Fisuras muertas:.....	81
<b>2.5.5. Desagregaciones:.....</b>	<b>81</b>
<b>2.5.6. Disgregaciones:.....</b>	<b>82</b>
<b>2.5.7. Cambios de color:.....</b>	<b>82</b>
<b>2.5.8. Eflorescencias:.....</b>	<b>83</b>
<b>2.6. PROPIEDADES DEL CONCRETO QUE PERMITEN UN BUEN COMPORTAMIENTO EN</b>	
<b>MEDIO AMBIENTE AGRESIVO.....</b>	<b>83</b>
<b>2.7. ESQUEMA DE UN PROCESO PATOLÓGICO:.....</b>	<b>84</b>
<b>2.8. MÉTODOS DE DETECCIÓN Y EVALUACIÓN DE DAÑOS:.....</b>	<b>85</b>
2.8.1. <i>Observación ocular:</i> .....	85
2.8.2. <i>Monitoreo de fisuración:</i> .....	85
2.8.2.1. Ancho de la superficie:.....	85
2.8.2.2. Profundidad de la fisura:.....	85
2.8.2.3. Evolución del estado de fisuración:.....	86
2.8.2.3.1. Progresión en la longitud:.....	86
2.8.2.3.2. Nuevas grietas:.....	86
2.8.2.3.3. Aumento en el ancho:.....	86
2.8.3. <i>Evaluación de la calidad del concreto:</i> .....	87
2.8.3.1. Ensayos no destructivos:.....	87
2.8.3.1.1. Pruebas de esclerométrica:.....	87

2.8.3.1.1.1. Condiciones para realizar el ensayo: .....	88
2.8.3.2. Ensayos destructivos (Core-drill): .....	89
2.8.3.2.1. Probetas testigos: .....	90
2.8.3.2.1.1. Criterios de aceptación para núcleos .....	93
2.8.3.2.1.2. Sistema de curado .....	94
2.8.3.2.2. Resistencias mecánicas del concreto:.....	94
2.8.3.2.2.1. Ensayos a compresión: .....	95
2.8.3.2.2.2. Ensayo a tracción:.....	96
2.8.3.2.3. Diagrama tensión-deformación:.....	98
2.8.3.2.4. Módulo de elasticidad: .....	98
2.8.4. Monitoreo de permeabilidad .....	100
2.8.4.1. Permeabilidad hidrófuga .....	100
2.8.4.2. Penetración de gas por porosidad.....	101
2.8.5. Medición de espesores de recubrimientos y diámetros de barras.....	101
2.8.6. Monitoreo de la corrosión.....	102
2.8.6.1. Pruebas por resistencia eléctrica. ....	103
2.8.6.2. Mapas de corrosión.....	105
2.9. Detección de fallas internas y deformaciones.....	107
2.9.1. Monitoreo por eco-impacto. ....	107
2.9.1.1. Vibraciones de ultrasonido.....	108
2.9.1.2. Frecuencia de resonancia.....	111
2.9.1.3. Tomografía sónica. ....	112
2.9.1.4. Termografía infrarroja .....	113
2.9.1.5. Difracción de rayos x. ....	113
2.9.1.6. Rayos laser y sensores ópticos.....	114
2.9.1.7. Impulsos por radar .....	115
2.9.2. Monitoreo de frecuencias.....	116
2.10 ESQUEMA RESUMEN DE LOS LINEAMENTOS A SEGUIR PARA OBTENER UNA BUENA INSPECCIÓN. [6].....	118
2.10.1. Vida útil de estructuras de concreto armado:.....	119
2.10.2. Aumento de la vida útil de estructuras de concreto armado corroídas, mediante realcalinización. ....	121
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>121</b>
<b>METODOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE DAÑOS .....</b>	<b>121</b>
3.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN .....	121

3.1.1. Recopilación y revisión del proyecto original.....	121
3.1.2. Inspección ocular.....	121
3.1.3. Levantamiento físico.....	124
3.1.4. Descripción y levantamiento de daños (sintomatologías).....	124
3.1.5. Actividades de campo.....	124
3.1.6. Actividades de oficina.....	125
3.1.7. Diagnóstico de las causas.....	125
3.1.8. Conclusiones y recomendaciones.....	125
3.2. RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DEL PROYECTO ORIGINAL.....	126
3.2.2. Descripción de la estructura.....	126
3.2.2.1. Ubicación.....	126
3.2.2.2. Descripción.....	126
3.2.3. Revisión del proyecto original.....	127
3.2.3.1. Revisión de los planos (ver Apéndice A).....	127
3.2.3.2.1. Plano techo - ubicación.....	127
3.2.3.2.2. Fundaciones: la estructura se proyectó sobre pilotes.....	127
3.2.3.2.3. Plano de semisótano.....	127
3.2.3.2.4. Plano nivel acceso.....	127
3.2.3.2.5. Plano nivel biblioteca.....	127
3.2.3.2.6. Plano nivel teatro.....	127
3.2.3.2.7. Plano nivel oficina- sala de proyección.....	128
3.2.3.2.8. Plano pent-house- techo.....	128
3.2.3.2.9. Columnas.....	128
3.2.3.2.10. Vigas.....	128
3.2.3.2.11. Losas: la estructura está conformada por losas nervadas en una sola dirección.....	129
3.3 EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS.....	129
3.3.1 Levantamiento físico.....	129
3.3.1.1. Infraestructura.....	130
3.3.1.2. Superestructura.....	130
3.3.2 .Descripción y levantamiento de daños.....	130
3.3.2.1. Descripción de daños.....	130
3.3.2.1.1 Daños en columnas.....	130
3.3.2.1.2 Daños en vigas.....	132
3.3.2.1.3 Daños en losas.....	133
3.3.2.1.4 Daños en escaleras.....	133

3.3.2.2 Levantamiento de daños .....	136
3.3.2.2.1. Cuadro clínico de los daños en los elementos estructurales .....	137
3.3.2.2.1.1 Clasificación de los daños en columnas (Tabla 7) .....	137
3.3.2.2.1.3 Clasificación de los daños en vigas.....	146
3.3.2.2.1.4 Clasificación de los daños en losas.....	146
3.3.2.2.1.5 Clasificación de los daños en escaleras.....	148
3.3.2.2.2 Distribución porcentual de los daños presentes en elementos estructurales.....	149
3.3.2.2.2.1 Columnas .....	149
3.3.2.2.2.3. Losas.....	152
3.3.2.2.2.4. Escaleras.....	155
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>159</b>
<b>FUNDAMENTOS PRÁCTICOS.....</b>	<b>159</b>
4.1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (ESCLERÓMETRO).....	159
4.1.1. Muestra de valores de resistencia por ensayo esclerométricos.....	162
4.2. TÉCNICA DE LA FENOLFTALEÍNA .....	163
4.3. ENSAYOS DESTRUCTIVOS (TOMA DE NÚCLEOS CORE-DRILL) .....	165
4.3.1. Resultados de ensayos (core-drill).....	171
4.3.2. Diagrama esfuerzo–deformación.....	174
4.3.2.1. Resultados de ensayo (Huggemberger).....	175
4.3.2.2. Tablas de esfuerzo deformación.....	177
4.3.2.3. Diagramas.....	178
4.4. CUADRO COMPARATIVO DE LAS RESISTENCIAS.....	179
4.4.1. Calculo de la resistencia final.....	180
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>181</b>
<b>DIAGNÓSTICO .....</b>	<b>181</b>
5.1. ANÁLISIS DEL ESTADO DE FISURACIÓN EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	181
5.2. ANÁLISIS DEL ESTADO DE CORROSIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	181
5.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE PRUEBAS Y ENSAYOS.....	182
5.3.1. Evaluación de la calidad del concreto mediante ensayos destructivos y no destructivos.....	182
5.3.2. Evaluación de la carbonatación del concreto mediante Fenolftaleína.....	185
<b>CAPITULO VI .....</b>	<b>186</b>

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO ..... 186**

**6.1. MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO**

ARMADO POR CORROSIÓN O VIDA ÚTIL. ....	186
<b>6.1.1. Corrosión del refuerzo metálico.....</b>	<b>187</b>
6.1.1.1. Prevención de la corrosión del refuerzo metálico.....	188
6.1.1.1.1. Protección catódica: .....	188
6.1.1.1.2. Resinas epóxicas:.....	189
6.1.1.1.3. Impermeabilización:.....	190
6.1.1.1.4. Recubrimiento o pintura del acero .....	190
6.1.1.1.5. Inhibidores: .....	191
<b>6.1.2. Daños por ataque directo al concreto.....</b>	<b>191</b>
6.1.2.1. Prevención a daños por ataque directo al concreto.....	192
<b>6.1.3. Reparación de la corrosión al concreto y acero:.....</b>	<b>193</b>
6.1.3.1. Remoción del material dañado:.....	193
6.1.3.2. Limpieza del material .....	194
6.1.3.3. Material de reposición.....	195
6.1.3.3.1. Concretos y morteros de cemento .....	195
6.1.3.3.2. Látex no emulsionable. ....	196
6.1.3.3.3. Morteros de expansión controlada: .....	197
6.1.3.3.4. Resinas epóxicas:.....	197
<b>6.1.4. Esquema del proceso reparación de la corrosión del acero y concreto ..</b>	<b>198</b>
<b>6.1.5. Agrietamiento.....</b>	<b>198</b>
6.1.5.1. Prevención del agrietamiento.....	199
6.1.5.2. Reparación del agrietamiento.....	199
6.1.5.2.1. Auto-sellado por percolación.....	200
6.1.5.2.2. Auto-sellado por cristalización.....	201
6.1.5.2.3. Inyección con resinas epóxicas.....	201
6.1.5.2.4. Resinas acrílicas.....	203
6.1.5.2.5. Sellos Elasto-Plásticos.....	204
6.1.5.2.6. Otros recubrimientos.....	204
<b>6.1.6. Esquema del proceso de reparación de grietas .....</b>	<b>205</b>
<b>6.1.7. Desagregaciones.....</b>	<b>205</b>
6.1.7.1. Prevención de las Desagregaciones .....	205
6.1.7.2. Reparación de las Desagregaciones.....	206
<b>6.1.8. Esquema de reparación de las desagregaciones.....</b>	<b>207</b>
<b>6.1.9. Eflorescencia.....</b>	<b>207</b>

6.1.9.1. Prevención de la eflorescencia.....	207
6.1.9.2. Reparación de la eflorescencia.....	208
<i>6.1.10. Esquema del proceso de reparación de la eflorescencia.....</i>	<i>209</i>
<i>6.1.11. Reparación y refuerzo de estructuras.....</i>	<i>209</i>
6.1.11.1. Daños estructurales reparables.....	211
6.1.11.1.1. Reparación aislada de algunos miembros o conexiones:.....	212
6.1.11.1.1.1. Reparación superficial de la masa de concreto.....	212
6.1.11.1.2. Refuerzo de las estructuras.....	215
6.1.11.1.2.1. Incremento de las secciones transversales.....	215
6.1.11.1.2.2. Inyecciones en la masa del concreto.....	219
6.1.11.1.2.3. Recubrimiento con láminas de refuerzo.....	223
6.1.11.1.2.3.1 Refuerzo con planchas de acero.....	223
6.1.11.1.2.3.2. Laminados con plásticos reforzados.....	227
6.1.11.1.2.3.2.1. Laminados en bandas o franjas delgadas.....	229
6.1.11.1.2.3.2.2. Laminados de grandes dimensiones.....	229
6.1.11.1.2.4. Arriostramientos con diagonales cruzadas.....	231
6.1.11.1.2.5. Refuerzo con miembros resistentes adicionales.....	232
6.1.11.1.2.6. Refuerzo de las bases de fundación.....	233
6.1.11.1.2.7. Aislación sísmica de cimientos y columnas.....	239
6.1.11.2. Daños estructurales no reparables.....	244
<i>6.1.12. Mejoramiento del suelo de fundación.....</i>	<i>245</i>
<i>6.1.13. Daños no estructurales.....</i>	<i>248</i>
6.1.13.1. Daños no estructurales por acciones fortuitas.....	249
<i>6.1.14. Vida útil de las estructuras.....</i>	<i>249</i>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>247</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>253</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>254</b>
<b>APENDICES.....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....</b>	<b>327</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. TAMICES PASANTES ENTRE 0,08 Y 2,5MM. [4].....	43
FIGURA 2. DOSIFICACIÓN AGUA-CEMENTO [12].....	44
FIGURA 3. MECANISMO BÁSICO DE PROTECCIÓN DE LAS ARMADURAS [9] ..	46
FIGURA 4. CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA [9].....	47
FIGURA 5. DIAGRAMA DE POURBAIX PARA EL HIERRO EN DISOLUCIÓN DE AGUA A 25°C. [8].....	48
FIGURA 6. CORROSIÓN DEL CONCRETO Y ACERO.....	50
FIGURA 7. PROCESO DE CARBONATACIÓN [8] .....	52
FIGURA NO. 8 PORO SECO .....	53
FIGURA NO.9 PORO SATURADO DE AGUA.....	53
FIGURA NO. 10 PARCIALMENTE LLENO DE AGUA [8].....	53
FIGURA 11. FOTOGRAFÍA QUE MUESTRA UNA PROBETA A LA QUE SE LE HA APLICADO LA TÉCNICA DE LA FENOLFTALEÍNA. [2] .....	54
FIGURA 12. ESQUEMA DEL PROCESO ENVEJECIMIENTO DE UNA PROBETA DE CONCRETO ARMADO [2] .....	56
FIGURA 13. EQUILIBRIOS DEL ION CLORURO EN EL CONCRETO. [8].....	59
FIGURA 14. PERFIL DE CONCENTRACIÓN DE CLORUROS EN EL CONCRETO. [8].....	64
FIGURA 15. REPRESENTACIÓN DOBLE LOGARÍTMICA DE LA LEY DE LA RAÍZ CUADRADA DEL TIEMPO: EL VALOR DE K SE MANIFIESTA EN LÍNEAS PARALELAS DE PENDIENTE 0.5. [8].....	65
FIGURA 16. COLUMNA QUE SUFRE DE AGRIETAMIENTO. [4].....	68
FIGURA 17. COLUMNA QUE SUFRE DE VARIACIONES DE TEMPERATURA. [4]	70
FIGURA 18. PÓRTICO AGRIETADO POR EXCESO DE CARGA. [9].....	71
FIGURA 19. REPRESENTACIÓN DE ASENTAMIENTOS [9] .....	72

FIGURA 20. DIFERENTES FISURAS A COMPRESIÓN. [9] .....	73
FIGURA 21. FISURAS A FLEXIÓN. [9].....	74
FIGURA 22. FISURA POR CORTANTE DE UNA VIGA [9].....	75
FIGURA 23. VIGA FISURADA POR TORSIÓN [9].....	75
FIGURA 24. ELEMENTO FISURADO A TRACCIÓN. [7] .....	76
FIGURA 25. INICIACIÓN DE LA DESAGREGACIÓN DE UNA COLUMNA. [22]....	81
FIGURA 26. DISGREGACIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR CORROSIÓN DE ARMADURAS. [11].....	82
FIGURA 27. EFLORESCENCIA EN SUPERFICIE DE CONCRETO. [11] .....	83
FIGURA 28. CONTROL DE FISURACIÓN. [9] .....	87
FIGURA 29. ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA APROXIMADA DEL CONCRETO Y SU UNIFORMIDAD, MEDIANTE EL USO DE UN ESCLERÓMETRO DIGITAL. [5].....	88
FIGURA 30. EXTRACCIÓN DE NÚCLEO EN COLUMNA. (FUNDESO) .....	90
FIGURA 31. TESTIGOS DE CONCRETO. [11] .....	93
FIGURA 32. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNA PROBETA CILÍNDRICA DE CONCRETO. [28].....	96
FIGURA 33. MÁQUINA DE ENSAYO DE TRACCIÓN. [29].....	97
FIGURA 34. CURVAS TÍPICAS DE ESFUERZO- DEFORMACIÓN PARA DIFERENTES CONCRETOS ARMADOS. [12].....	98
FIGURA 35. PRUEBA DE PERMEABILIDAD HIDRÓFUGA. [6].....	100
FIGURA 36. PRUEBA DE PENETRACIÓN DE GAS. [6].....	101
FIGURA 37. MEDICIÓN DE RECUBRIMIENTOS Y DIÁMETROS DE BARRAS. [6] .....	102
FIGURA 38. PRUEBA DE RESISTENCIA ELÉCTRICA. [6] .....	104
FIGURA 39. RUEDAS DE MEDICIÓN: LA MANERA FÁCIL DE MEDIR LAS POSICIONES DE LOS ELECTRODOS. [23].....	105
FIGURA 40. MAPAS DE CORROSIÓN. [6].....	106

FIGURA 41. IMPACTO SOBRE LA SUPERFICIE DEL CONCRETO Y RECORRIDO DE ONDA. [6] .....	108
FIGURA 42. PROPAGACIÓN DE ONDAS EN UN SÓLIDO HETEROGÉNEO. [6]..	109
FIGURA 43. FORMAS DE PROPAGACIÓN DE LOS PULSOS ULTRASÓNICOS. [6] .....	110
FIGURA 44. DISTINTOS MODOS DE RESONANCIA. [6].....	111
FIGURA 45. MEDICIONES ESTÁTICAS Y DINÁMICAS. [6] .....	115
FIGURA 46. MODOS DE VIBRACIÓN FLEXIONAL TORSIONAL. [6] .....	117
FIGURA 47. TIEMPO DE VIDA ÚTIL DE UNA ESTRUCTURA. [8] .....	120
FOTO 1. COLUMNAS DEL SEMISÓTANO.....	131
FOTO 2. COLUMNA PLANTA BAJA .....	131
FOTO 3. SEMISÓTANO .....	131
FOTO 4. CARBONATACIÓN .....	132
FOTO 5. EFLORESCENCIA.....	132
FOTO 6. VIGA SEMISÓTANO .....	132
FOTO 7. DAÑO EN VIGA DE SEMISÓTANO .....	132
FOTO 8. DAÑO EN LOSA DE SEMISÓTANO .....	133
FOTO 9. ESCALERA PLANTA BAJA.....	134
FOTO 10. ESCALÓN .....	134
FOTO 11. PLANTA BAJA.....	134
FOTO 12. COLUMNA DE TEATRO .....	134
FOTO 13. LOSA PLANTA BAJA .....	135
FOTO 14. OFICINAS.....	135
FOTO 15. PARED TEATRO .....	135
FOTO 16. PARED OFICINA .....	135
FOTO 17. DESPRENDIMIENTO DE FRISO EN TEATRO.....	136

FOTO 18. ESCLERÓMETRO .....	160
FOTO 19. USO DE PIEDRA ESPECIAL .....	161
FOTO 20. LIMPIEZA DE LA ZONA.....	161
FOTO 21. LECTURA EN VIGA .....	161
FOTO 22. LECTURA EN COLUMNA.....	161
FOTO 23. TOMA DE MUESTRA .....	163
FOTO 24. PROBETA VIGA SEMISÓTANO.....	163
FOTO 25. PROBETA COLUMNA SEMISÓTANO .....	163
FOTO 26.PROBETA PB.....	163
FOTO 27.FENOLFTALEINA.....	164
FOTO 28. APLICACIÓN DE LA FENOLFTALEÍNA.....	164
FOTO 29. VIGA (SS).....	165
FOTO 30. COLUMNA (SS) .....	165
FOTO 31. COLUMNA (PB).....	165
FOTO 32. MÁQUINA PERFORADORA DE CONCRETO PARA TOMA DE NÚCLEOS.....	166
FOTO 33. EXTRACCIÓN PB.....	167
FOTO 34. EXTRACCIÓN P2 .....	167
FOTO 35. EXTRACCIÓN P3 .....	167
FOTO 36. NÚCLEO DE VIGA .....	167
FOTO 37. EXTRACCIÓN EN LOSA.....	168
FOTO 38. NO CUMPLE CON LA RELACIÓN (L/D) .....	168
FOTO 39. TERMINANDO EXTRACCIÓN .....	168
FOTO 40. MORTERO EPÓXICO .....	169
FOTO 41. COLOCACIÓN DE CAPPING.....	170
FOTO 42. ENSAYO A COMPRESIÓN.....	170

FOTO 43. EXTENSÓMETRO MECÁNICO HUGGEMBERGER.....	174
FOTO 44. PARED AGRIETADA Y CAJETÍN ELÉCTRICO CORROÍDO.....	181
FIGURA 48. CORROSIÓN DEL REFUERZO METÁLICO. (FUNDESO).....	188
FIGURA 49. REPARACIÓN DEL AGRIETAMIENTO CON INYECCIONES EPÓXICAS. [23].....	200
FIGURA 50. INYECCIÓN DE RESINA EPOXI FLUIDIFICADA EN EL INTERIOR DE LA FISURA. [24] .....	202
FIGURA 51. TRABAJOS DE SELLADO Y CONSOLIDACIÓN CON PRESENCIA DE AGUA MEDIANTE RESINA ACRÍLICA INYECCIÓN. [25] .....	203
FIGURA 52. EJEMPLO DE EFLORESCENCIA. [26] .....	208
FIGURA 53. REPARACIÓN DE LA MASA DE CONCRETO Y REEMPLAZO DE LAS BARRAS DE REFUERZO CON CORROSIÓN. [6] .....	214
FIGURA 54. REPARACIÓN DE FISURAS MEDIANTE RELLENO E INYECCIONES. [6].....	214
FIGURA 55. INCREMENTO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES. [6] .....	217
FIGURA 56 REFUERZO DE VIGAS Y COLUMNAS. [6].....	218
FIGURA 57. REFUERZO DE COLUMNAS CON CAMISA METÁLICA AJUSTADA CON PERNOS Y CAMISA SOLDADA. [6].....	218
FIGURA 58. REFUERZOS CON PLANCHAS DE ACERO Y ADHESIVO. [6] .....	224
FIGURA 59. PRESERVACIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO MEDIANTE LIMPIEZA Y LAVADO (MANTENIMIENTO PREVENTIVO). [5] .....	225
FIGURA 60. TÉCNICA DE INYECCIÓN DE RESINAS PARA FIJAR PLANCHAS METÁLICAS. [6] .....	226
FIGURA 61. LAMINADO REFORZADO Y RESULTADO DEL ENSAYO A TRACCIÓN. [6].....	227
FIGURA 62. FUERZAS QUE SOLICITAN AL MURO Y EL LAMINADO CON FIBRAS RESISTENTES. [6].....	230
FIGURA 63. ARRIOSTRAMIENTO CON DIAGONALES CRUZADAS. [6] .....	232

FIGURA 64. PÓRTICO REFORZADO CON COLUMNA INTERMEDIA. [6].....	233
FIGURA 65. BASES AISLADAS REFORZADAS CON TOPES DE CONCRETO. [6] .....	234
FIGURA 66. LAS BASES AISLADAS CONECTADAS A OTRAS BASES VECINAS MEDIANTE BLOQUES DE CONCRETO. [6].....	235
FIGURA 67. REFUERZO DE BASES CONECTADAS CON MICRO-PILOTES. [6]	236
FIGURA 68. MICRO-PILOTES ADICIONALES EN FUNDACIONES DE TANQUES DE RESERVA [6].....	237
FIGURA 69. PILOTES MÉGA. [6] .....	238
FIGURA 70. AISLACIÓN SÍSMICA DE EDIFICIOS CON SOPORTES DE DESLIZAMIENTO. [6].....	240
FIGURA 71. AISLACIÓN SÍSMICA DE CIMIENTOS Y COLUMNAS. [6] .....	241
FIGURA 72. DETALLE DEL APOYO DE AISLACIÓN DINÁMICA. [6].....	242
FIGURA 73. REDUCCIÓN DE CARGAS POR AISLACIÓN SÍSMICA. [6].....	243
FIGURA 74. SISTEMA DE AISLACIÓN DINÁMICA DE PUENTES. [6].....	243
FIGURA 75. CONCEPTUALIZACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO, TOMANDO COMO REFERENCIA EL FENÓMENO DE LA CORROSIÓN DE LA ARMADURA. [10].....	251
FIGURA 76. ESTRUCTURA EN MEDIO AMBIENTE AGRESIVO. [3] .....;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 77. JUNTAS DE CONSTRUCTIVA EN UNA LOSA DE ENTREPISO. [6] ..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 78. JUNTAS DE DILATACIÓN. [6] ..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 79. JUNTAS DE CONTROL. [6]..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 80. FRANJAS DE RETRACCIÓN. [6] . ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 81. JUNTA ELÁSTICA DE CONTROL. [6]..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 82. JUNTAS ARTICULADAS. [6]..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	

**FIGURA 83. JUNTAS DESLIZANTES. [6]..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 84. JUNTAS DE AISLACIÓN. [6]..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 85. JUNTAS SÍSMICAS. [6]..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 86. JUNTA NO ESTRUCTURAL. [6]... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 87. MIEMBROS TRACCIÓNADOS EN ACERO Y CONCRETO ARMADO. [6]..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 88. COLUMNAS LIGADAS. [6] ..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 89. DETALLE DE LAS LIGADURAS EN COLUMNAS EN ZONA SÍSMICA. [6]..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 90. COLUMNAS ZUNCHADAS. [6]..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 91. DETALLE DE DISTRIBUCIÓN DEL ACERO. [6]...;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 92. DETALLE DEL REFUERZO EN COLUMNAS CON CAMBIO DE SECCIÓN. [6] ..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 93. ESTRIBOS CERRADOS EN VIGAS EN ZONA SÍSMICA. [6].....;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 94. EJEMPLOS DE LA DISPOSICIÓN DE LA ARMADURA EN UN MURO ESTRUCTURAL (NIVEL DE DISEÑO 3). [6]..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 95. REFUERZO EN VIGAS DE ACOPLAMIENTO PARA MUROS ESTRUCTURALES. [6]. ..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**FIGURA 96. EJEMPLO DE ARMADO DE DINTELES QUE CONECTAN MUROS ACOPLADOS. [6]..... ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. VALOR DEL PH DEPENDIENDO DEL COLOR EN LA PROBETA. [6]....	54
TABLA 2. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CORROSIÓN SEGÚN ASTM C-876. [2] .....	55
TABLA 3. VALOR CRÍTICO DE CLORUROS EN CONCRETOS REFORZADOS. [8] .....	60
TABLA 4. DIFERENTES TIPOS DE RETRACCIONES. [9].....	69
TABLA 5. VALORES DE ANCHOS MÁXIMOS DE FISURAS PERMITIDOS CORRESPONDIENTES A DIFERENTES INVESTIGADORES Y REGLAMENTOS. [7] .....	79
TABLA 6. VALORES LÍMITES ACEPTADOS PARA LA ABERTURA MÁXIMA DE UNA FISURA. [7].....	80
TABLA 7. CLASIFICACIÓN DE DAÑOS EN COLUMNAS. ....	139
TABLA 8. CLASIFICACIÓN DE DAÑOS EN LOSAS.....	147
TABLA 9. CLASIFICACIÓN DE DAÑOS EN ESCALERAS.....	148
TABLA10. PLAZOS MÍNIMOS DE DESENCOFRADOS. [6] ..... NO DEFINIDO.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

## RESUMEN

En este proyecto se evaluaron las causas y efectos que originaron los daños estructurales del edificio Fundeso ubicado en Puerto La Cruz a través de ensayos destructivos, no destructivos, y por carbonatación.

El análisis de la edificación se basó en un estudio patológico, para ello se hizo necesario estudiar cada uno de los elementos estructurales que la conforman, por medio de un ensayo esclerométrico el cual nos indica la posible resistencia que tiene cada elemento. Una vez establecido un índice esclerométrico se escogieron tres niveles y sus respectivos miembros con menor índice esclerométrico. Para corroborar la resistencia obtenida por este ensayo se procedió a extraer nueve cilindros del concreto endurecido, con dichos cilindros se pudo conocer la resistencia actual del concreto, esto se logró usando una máquina perforadora con punta de diamante, también con estas extracciones se pudieron obtener los diagramas de esfuerzo-deformación. A la edificación se le hizo una prueba de carbonatación con una sustancia preparada al 1% en agua destilada conocida como fenolftaleína la cual es un indicador del pH del concreto que en soluciones acidas permanece incolora y en soluciones básicas se torna a color indicando que tan profundo había llegado la carbonatación en los elementos. También se elaboró un manual preventivo de corrosión y vida útil para dar soluciones no solo a las distintas patologías que presente el edificio sino también a todas las estructuras de concreto armado. Este manual permite definir una mejor forma de diseñar obras en concreto durables y reparar adecuadamente las ya existentes que presentan este problema para así prestar los servicios para las cuales fueron creadas.

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. Generalidades**

Las estructuras de concreto son regularmente definidas como estructuras durables con un bajo costo de mantenimiento. Sin embargo, en los últimos años, se ha observado un incremento en agrietamientos y de desprendimiento del recubrimiento, relacionados con la corrosión y otras patologías; no solo de la armadura de acero sino, del mismo concreto en todo el mundo.

Ante este elevado grado de degradación no ha quedado otra solución que sustituir las viejas estructuras por otras nuevas. Es por ello que la inspección, mantenimiento periódico y sistemático de los edificios debe desarrollarse para garantizar sus óptimas condiciones.

En este proyecto se pretende evaluar las causas y efectos que originaron los daños estructurales del edificio Fundeso ubicado en Puerto La Cruz a través de ensayos destructivos, no destructivos, y por carbonatación. También se elaborará un manual preventivo de corrosión y vida útil para dar soluciones no solo a las distintas patologías que presente el edificio sino también a todas las estructuras de concreto armado. Este manual permitirá definir una mejor forma de diseñar obras en concreto durables y reparar adecuadamente las ya existentes que presentan este problema para así prestar los servicios para las cuales fueron creadas.

Síntesis del contenido de los capítulos del presente trabajo.

El **capítulo I** introducción. En este capítulo se describe las razones por las cuales se tomó este tema, se describen sus antecedentes, objetivos generales y específicos.

El **capítulo II** fundamentos teóricos. A manera de información este resume los síntomas patológicos del concreto armado y las causas que conllevan a su deterioro. También se mencionan los procedimientos y distintos ensayos a realizar para evaluar una estructura de concreto armado.

**Capítulo III** metodología y evaluación de daños. Se menciona de manera detallada el proyecto original, la descripción y levantamiento de daños de los elementos estructurales; partiendo de una observación detallada de los sistemas realizando visitas periódicas a la edificación, etc.

Cabe destacar que la metodología de evaluación utilizada se estructuró en base a los daños presentes en la edificación.

En el **capítulo IV** fundamentos prácticos. Se describen los principios más importantes en el que se basó el presente trabajo refiere todos los procedimientos de ensayos y métodos seguidos para evaluar y cuantificar los daños presentes en el edificio a través de los cuales se hizo un diagnóstico de las posibles causas del deterioro del edificio "FUNDESO" para posteriormente analizar los resultados entre los cuales se pudieron realizar: observación ocular, control de fisuración y corrosión, prueba de carbonatación, evaluación del concreto endurecido mediante pruebas esclerométricas y toma de probetas testigos para determinar la resistencia a compresión.

**Capítulo V** diagnostico. Se analiza el estado de fisuración y corrosión de la estructura y los resultados de las pruebas y ensayos.

**Capítulo VI.** mantenimiento preventivo. Se establecen los posibles métodos que pueden garantizar el funcionamiento y fiabilidad de las estructuras.

Una vez conocidas las causas se dan las conclusiones y recomendaciones que son el aval que representa el objetivo principal de este trabajo cuya finalidad es descifrar el complejo problema encontrado, lo cual no siempre es sencillo debido a la variedad de condiciones y causas que pueden producir daños en las estructuras que por lo general actúan combinadas, además de existir métodos para detectar las causas de los daños en las estructuras de concreto armado que no se emplearon debido a su complejidad y costo.

El presente trabajo servirá de guía para inspecciones y reparaciones en estructuras de concreto armado que presenten daños en sus elementos estructurales y la realización de las futuras investigaciones acerca de la patología estructural.

## **1.2. Antecedentes**

El edificio FUNDESO, es una obra privada cuyo objeto primordial es el de prestar servicio comercial; fue calculado en el año 1975 y construido en 1976. Presenta actualmente problemas de corrosión y desprendimiento de material en sus elementos estructurales, debido fundamentalmente a los años que tiene expuesta a la intemperie sin mantenimiento, ya que el edificio hasta ahora está abandonado.

Es inquietante la problemática que actualmente presenta el edificio FUNDESO, por lo tanto con el apoyo de estudios propios se tratará de encontrar las posibles razones que dieron origen a los daños en la estructura y dar ciertas recomendaciones de prevención y reparación por medio de un manual preventivo.

Como lo hicieron:

Romero M., Gilbellys T. Cariaco, 2008. El proyecto de investigación se basó en recopilación de información existente suministrado por organismos como: INAVI, FUNVISIS y el Centro de Sismología de la Universidad de Oriente. Estado Sucre. La evaluación se llevó a cabo por medio de formatos, fórmulas y programas de cálculos por elementos finitos (ETABS 9). Donde se pudo constatar la necesidad de rehabilitar y reparar la estructura mediante muros de concreto reforzado y diagonales de acero. La cual representa la disminución del riesgo de un colapso ante otro evento sísmico.

Bistocho N., Neila M. Conurbación Barcelona-Puerto La Cruz-Cumaná, 2005. Propuso soluciones, métodos y técnicas de restauración estructural dentro de las normas COVENIN 1756-98 (con revisión 2001) para construcción de pilares, vigas y losas, Para tratar de establecer las bases que rigen el fenómeno de la corrosión, presentando temas fundamentales que permitirán al lector comprender el fenómeno de la corrosión; Se describió el funcionamiento de la celda electroquímica como fundamento básico para la explicación del proceso de corrosión, los fundamentos de termodinámica se abordaron con la presentación de la serie galvánica, la serie electromotriz, y los diagramas de Pourbaiz

también se describió la importancia de las técnicas empleadas para conocer la cinética de los procesos de corrosión. Y por último se enfatiza la importancia de la medición de parámetros termodinámicos y cinéticos en estructuras de concreto armado, puesto que son muy útiles para establecer diagnósticos acerca del proceso de corrosión en el refuerzo de acero y tomar medidas.

Anna G., Álvarez V. e Yvana M. Veltri R. cumana 2002. Estudiaron y analizaron los daños ocasionados en la estructura de concreto armado “Apartamentos Marina Mar” con la finalidad de detectar si el detrimento pudo cometerse en cualquiera de las fases de los proyectos constructivos; Estudiando las patologías presentes en dicho edificio y también los daños físicos presentes en el mismo a través de ensayos destructivos y no destructivos Además recomendaron ciertos métodos correctivos para prolongar la vida útil de servicio y optimizar la funcionalidad la estructura de concreto armado. [7]

### **1.3. Planteamiento del Problema**

El concreto funciona como una capa física protectora en contra de los agentes ambientales (oxígeno, agua, cloruros, dióxido de carbono) que puedan despasivar al acero e iniciar su corrosión y por ende sus propias patologías. Sin embargo en un ambiente marino o urbano, los iones cloruro del agua de mar o el  $\text{CO}_2$  se acumulan en la superficie del concreto provocándoles enfermedades; hasta llegar a la armadura. Cuando la concentración de los iones cloruro en la superficie del acero de las armaduras alcanza valores que exceden un nivel crítico (o disminución del pH por el  $\text{CO}_2$ ), la protección de la armadura corre el peligro de desaparecer y la corrosión puede desencadenarse. Por otra parte, la carbonatación

también es un problema que actualmente está afectando a muchas estructuras en nuestro país, aunque en menor escala que el de los cloruros, pero se tienen dificultades similares para su predicción. Así, estos problemas tienen una relación directa con los parámetros metereoquímicos del ambiente al cual se encuentran expuestas las estructuras.

Todas estas condiciones hacen que existan inconvenientes en las construcciones de concreto armado, que comienzan con microfisuras y grietas que exponen el acero al medio agresivo, con el consecuente deterioro prematuro, generando gastos de reparación no contemplados tan tempranamente.

La avenida 5 de julio a pesar de encontrarse en el centro de Puerto La Cruz, donde se pueden observar a lo largo de su trayecto diversas estructuras de gran envergadura no solo en el ámbito arquitectónico sino ingenieril, están abandonadas o no fueron culminadas, ya sea por falta de presupuesto o por mala ejecución, deteriorándose a través de los años por los diversos factores mencionados anteriormente. De continuar estos edificios abandonados no solo se corre el riesgo de que alberguen indigentes y enfermedades, sino que por no tener un mantenimiento constante, lleguen a un punto tal de deterioro que no puedan resistir desde un evento sísmico hasta su propio peso, provocando el colapso de dicha estructura.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General:**

Evaluar los daños estructurales del edificio de concreto armado FUNDESO, de la Avenida 5 de julio Puerto La Cruz.

**1.3.2. Objetivos Específicos:**

- 1) Estimar el deterioro de los elementos estructurales de concreto armado en la superestructura.
- 2) Diagnosticar las condiciones estructurales de las fundaciones, columnas y apoyos para la sustentación de los elementos de concreto armado.
- 3) Estudiar las soluciones estructurales del deterioro en las estructuras de concreto armado.
- 4) Evaluar el concreto endurecido por ensayos destructivos y no destructivos, para la obtención del diagrama esfuerzo-deformación.
- 5) Proponer las soluciones de restauración estructural para los elementos dañados por corrosión ó vida útil.
- 6) Elaborar un manual de mantenimiento preventivo en las estructuras de concreto armado dañadas por corrosión o vida útil.

## **CAPITULO II**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1. Aspectos generales de la patología estructural:**

##### **2.1.1. Definición:**

Es el estudio de las deficiencias, accidentes y fallas en las estructuras, las cuales son ocasionadas generalmente por errores al seleccionar los materiales, en la concepción de la obra o durante su construcción. En los edificios de forma particular la estructura está formada por una serie de pisos horizontales que reciben las cargas y las transmiten por medio de vigas o nervios, también a soportes o muros verticales que lo canalizan hasta el terreno.

##### **2.1.2. Antecedentes de la patología estructural:**

Todas las lesiones o enfermedades que puedan ser detectadas en las estructuras son fenómenos tan antiguos como los propios edificios de los que forman parte. Es relevante especificar que el primer tratado que se dictó sobre patología en la construcción fue realizado en Mesopotamia, hace cuatro mil años, identificado como código de HAMMURABI, el cual señalaba cinco reglas para prevenir defectos en los edificios, estas por lo drástico de su contenido quizás tuvieron en aquella época una gran repercusión en la calidad de la construcción.

Las reglas son:

1. Si un constructor hace una casa para un hombre y no la hace firme y su colapso causa la muerte del dueño de la casa, el constructor deberá morir.
2. Si causa la muerte del hijo del dueño de la casa, el hijo del constructor deberá morir.
3. Si causa la muerte de un esclavo del propietario de la casa, el constructor deberá dar al propietario un esclavo de igual valor.
4. Si la propiedad fuese destruida, él deberá restaurar lo que fue destruido, por su propia cuenta.
5. Si un constructor hace una casa para un hombre y no la hace de acuerdo con las especificaciones y una pared se cae, el constructor reconstruirá la pared por su cuenta.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por el presidente del Instituto Británico de Ingeniería: Robert Stevenson, recomendó en el año 1856 que: “los accidentes que habían tenido lugar durante los últimos años debían ser recopilados, analizados y divulgados, puesto que nada sería tan útil e instructivo, para los profesionales, como el conocimiento de los mismos y los medios empleados en su reparación. La divulgación precisa de tales accidentes, los medios empleados para subsanar sus consecuencias, serían en realidad más valiosos que los millares de relatos auto-elogiosos de los trabajos bien realizados que los constructores y órganos empresariales presentan al público y a sus accionistas.

### **2.1.3 Importancia de la patología estructural:**

La patología de la construcción está íntimamente ligada y de forma inversa a la calidad y si bien en esta última se ha avanzado mucho y se continúa progresando cada vez más no por esto los casos patológicos han disminuido en la misma proporción, aunque, es verdad que el descenso ha sido muy notable.

Es realmente difícil conocer la situación actual del problema patológico estructural debido a que, así como los éxitos siempre se lanzan a los cuatro vientos, los fracasos se arropan, se guardan y se procura evitar su trascendencia. Ocurre con frecuencia que a muchos de los defectos o lesiones que presentan las estructuras se les da poca importancia y, por lo tanto, no llegan a formar parte de las estadísticas debido a que el propio constructor los corrige, los cubre o los encubre. Indiscutiblemente, la fortaleza y durabilidad de una estructura, al igual que la de un ser vivo va a depender de los cuidados que se hayan tenido con ella no sólo durante su gestión o proyecto, sino también, durante su crecimiento o construcción y posteriormente durante el resto de su vida o mantenimiento.

La obra al igual que el ser vivo, se encuentra sometida a la acción del calor, de la humedad, de los vientos, etc. Pero también tiene que soportar unas acciones de tipo mecánico que pueden fatigarla e incluso lastimarla. Por consiguiente, los cuidados y la vigilancia, si bien son importantísimos durante su crecimiento o construcción y de ellos dependerá mucho la vida de la obra, no hay que pensar que terminan con la realización de la misma, sino que luego hay que seguir prodigándolos.

## **2.2. Patología de los materiales constructivos del concreto armado:**

### **2.2.1. Cementos:**

El cemento puede repercutir en la homogeneidad y compacidad del concreto. Una de las causas de efectos patológicos debidos al cemento empleado en concreto armado son las adiciones inertes o no activas que pueda llevar este. La dosificación del cemento puede crear también problemas en el concreto, altas dosificaciones trae como consecuencia fuerte calor de hidratación, que se traducirán en fuertes retracciones de origen térmico y en peligro de fisuración. Dosificaciones elevadas aumentan el riesgo de retracción hidráulica que finalizará también en fisuración.

### **2.2.2. Áridos:**

Los áridos entran en el concreto en una proporción que oscila entre 70 y el 80 por ciento del volumen del mismo, esto permite deducir que su influencia tenga un peso específico sobre las propiedades del concreto, se debe tomar en cuenta la granulometría, la cantidad de finos y de gruesos, y sobre todo la calidad de estos.

### **2.2.3. Agua:**

Las aguas de amasado tienen una importancia trascendental, en cuanto a su calidad relacionada a la del cemento empleado. Para la hidratación de los componentes activos del cemento bastaría con una relación agua/cemento teórica aproximada de 0,18. Por lo tanto, todo exceso sobre esta cantidad repercute en la compacidad del concreto. A mayor cantidad de

agua, mayor porosidad, menores resistencias mecánicas, mayor retracción y mayor riesgo de ataque al concreto.

#### **2.2.4. Aditivos:**

Los aditivos pueden dar lugar, también a patología en el concreto. Para que los aditivos sean eficaces y no contraproducentes, se requiere emplearlos en determinadas dosis; si estas son excesivas, estos pierden su valor terapéutico y pueden dar lugar a serias complicaciones. Si por el contrario las dosis son escasas, pueda que no se consiga el efecto deseado.

#### **2.2.5. Aire:**

El aire se encuentra en el concreto estructural en una proporción que oscila entre el 2% y el 5%. La oclusión de aire en el concreto puede ser indeseable, otras, por el contrario, se realiza una inclusión perfectamente deseada y controlada, en los dos casos, el aire siempre produce una disminución en las resistencias mecánicas del concreto.

#### **2.2.6. Refuerzo del acero:**

Las barras empleadas como armadura en concreto armado no deben presentar defectos superficiales, grietas ni sopladuras.

A fin de evitar posibles errores que darían lugar a efectos patológicos, es recomendable emplear en obra el menor número posible de diámetros distintos y que estos diámetros se diferencien entre sí lo más posible.

## **2.3. Patología del concreto armado**

### **2.3.1. Compacidad:**

La compacidad de un concreto depende, fundamentalmente de la relación árido/cemento, de la dosificación de cemento y de la relación agua/cemento o su inversa la concentración.

Los tres componentes que juegan en estas relaciones son los áridos, el cemento y el agua, existiendo otro, subordinados a ellos, que va a ser el aire y cuya presencia va a dar lugar a oquedades en el concreto. [11]

#### **2.3.1.1. Relación árido-cemento:**

##### **2.3.1.1.1. Granulometrías adecuadas:**

- Son especialmente malas los granos de diámetros comprendidos entre 0,08 y 2,5mm, y las que contienen excesos de fracciones finas.(Figura 1)
- Una granulometría incorrecta puede paliarse con más cemento. Es preciso ser especialmente cuidadoso con la disposición constructiva, puesto que se producirán mayores retracciones.
- El árido debe ser compatible con las distancias entre armaduras, entre encofrados y encofrados y armaduras.



Figura 1. Tamices pasantes entre 0,08 y 2,5mm. [4]

#### **2.3.1.2. Dosificación del cemento:**

Es conveniente utilizar la mínima cantidad posible de cemento, compatible con la resistencia que se desee obtener. Es preferible utilizar menos cemento y emplear una granulometría correcta y una adecuada relación agua-cemento

Las altas dosificaciones de cemento:

- Calor de hidratación.
- Fuertes retracciones térmicas.
- Fuertes retracciones hidráulicas.
- Respetar las limitaciones de dosificación contenidas en la EHE.

#### **2.3.1.3. Dosificación agua-cemento:**

Los valores grandes de a/c penalizan fuertemente la curva de endurecimiento del concreto a igualdad del resto de las características. Según la figura 2.

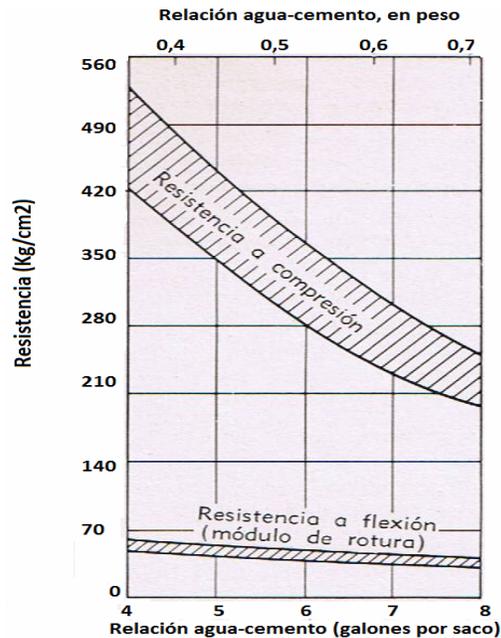


Figura 2. Dosificación agua-cemento [12]

Mínimo teórico  $a/c = 0,18$

Mínimo real  $a/c =$  entre 0,30 y 0,40

Exceso de agua  $\Rightarrow$  Tiene que evaporarse.

Concretos de mayor porosidad, menor resistencia, mayor retracción y en consecuencia mayor riesgo de ataque.

#### 2.3.1.4. Aire ocluido:

- Forma parte del concreto en una proporción del 2 al 5%.
- Disminuye la compacidad y la resistencia del concreto.
- Puede ser beneficioso al aumentar la durabilidad ante los ciclos hielo-deshielo.

- Pueden usarse aditivos aireantes. Pueden dar problemas (control muy cuidadoso). A cambio permiten reducir la relación agua-cemento y permiten mejorar el comportamiento ante heladas y líquidos agresivos.

### **2.3.2. Corrosión del concreto armado:**

#### **2.3.2.1. Por Gases atmosféricos:**

- Combustiones de carbón o petróleo.
- Gases industriales.
- Generalmente se trata de  $\text{CO}_2$  que con el agua produce  $\text{CO}_3\text{H}_2$  o  $\text{SO}_2$  que produce  $\text{SO}_4\text{H}_2$ , que atacan el concreto.

#### **2.3.2.2. Por agua:**

- Aguas puras: atacan al concreto por disolución.
- Aguas acidas o salinas: atacan al cemento convirtiéndolo en sales solubles, que se disuelven.
- Aguas selenitosas: producen un ataque especialmente grave, puesto que reaccionan con el aluminato tricálcico dando ettringita que es expansiva.

#### **2.3.2.3. Por compuesto orgánicos:**

Componentes nocivos:

- Aceite y grasas.
- Leche y mantequilla.
- Vino y derivados.
- Cerveza.

Producen ácidos que atacan al concreto y a veces a la armadura.

Debemos tenerlo muy en cuenta si se pretende diseñar estructuras de concreto que sirvan de contenedores de estos productos.

### 2.3.3. Mecanismos de corrosión de las armaduras:

Al fraguar el cemento da  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  que da un ambiente básico con un pH superior a 12,5 que impide la corrosión del acero. Se forma una capa alrededor de la armadura que la protege por pasivación. Como se muestra en la figura 3.

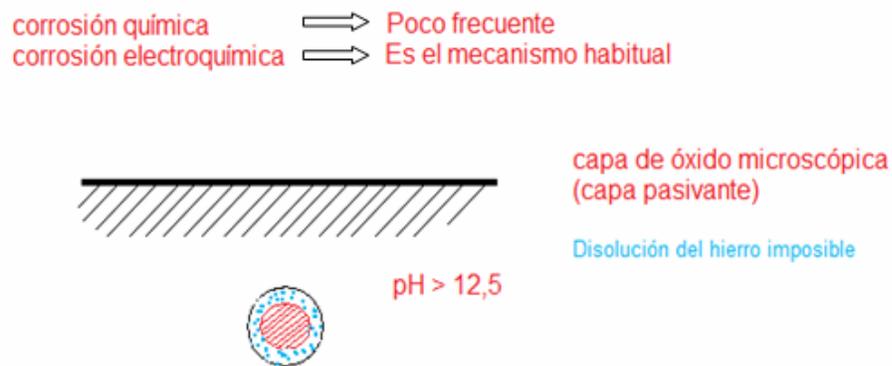


Figura 3. Mecanismo básico de protección de las armaduras [9]

#### 2.3.3.1. Corrosión electroquímica:

Para que se produzca la corrosión electroquímica es necesario:

- Destrucción de la capa pasivante.
- Oxígeno.
- Humedad.

- Iones cloro que actúan como electrolitos. Como se muestra en la figura 4.[9]

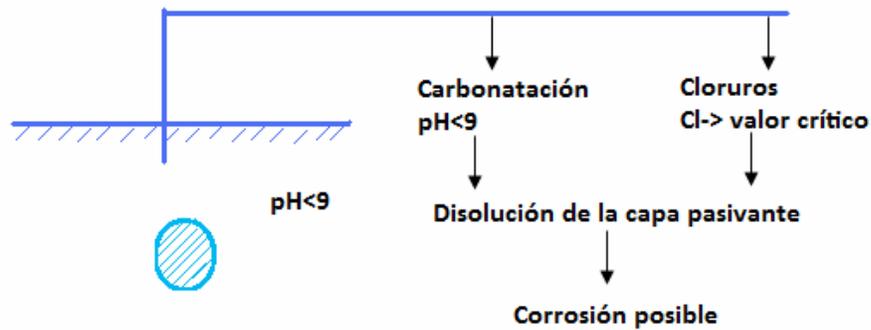


Figura 4. Corrosión electroquímica [9]

#### 2.3.3.1.1. Esquema del proceso de corrosión de las armaduras. [2]

1. La humedad penetra por las grietas capilares y por los poros.

2. Se inicia la formación del óxido.

3. La formación de productos de corrosión voluminosos produce tensiones expansivas.

4. Finalmente la presión produce desprendimiento de porciones de concreto y las barras de acero quedan expuestas al aire.



### 2.3.3.1.2. Diagramas de Pourbaix:

El estado de energía de un metal en una disolución electrolítica es fuertemente influenciado por el pH de la disolución y las características particulares del metal. Bajo estas consideraciones, Marcell Pourbaix desarrolló una forma sencilla de representar reacciones en un plano, tomando como coordenadas el pH y el potencial electroquímico y son denominados: Diagramas de Pourbaix o diagramas de estabilidad dinámica. En estos diagramas, los parámetros potencial E y pH son mostrados en gráficas para los diversos equilibrios sobre coordenadas cartesianas normales con E como eje vertical u ordenada y el pH como eje horizontal o abscisa. El diagrama toma en cuenta los equilibrios electroquímicos y químicos de metales en agua.

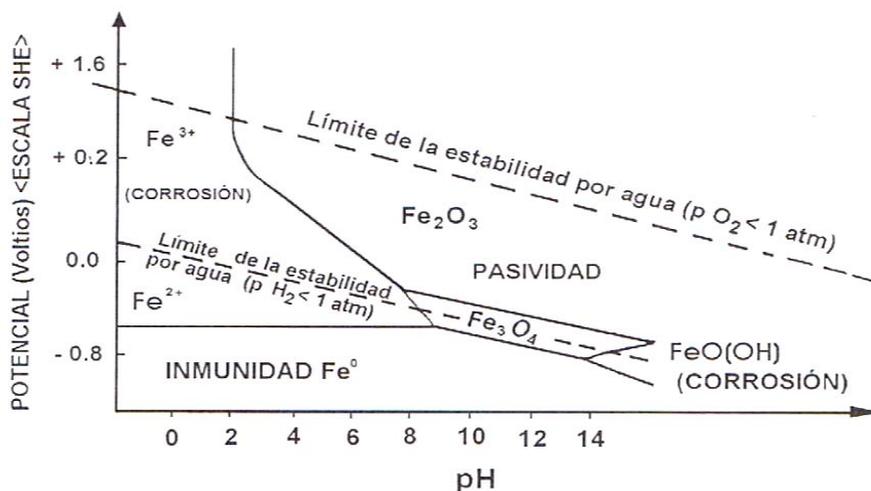


Figura 5. Diagrama de pourbaix para el hierro en disolución de agua a 25°C. [8]

De acuerdo a la Figura 5, estos diagramas definen zonas en las que las especies químicas pueden estar como sólidos insolubles ( $\text{Fe}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  y  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) y solubles, como iones ( $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ ). Las zonas se dividen en: zona de pasivación, de inmunidad y de corrosión.

- Zona de pasividad. Los hidróxidos de hierro forman una capa protectora en la superficie del metal, que reduce su actividad química y por lo tanto su velocidad de corrosión, por ello se le denomina zona de pasividad.
- Zona de inmunidad. En esta región del diagrama la especie termodinámicamente estable es el FeO, por lo tanto el metal es inmune y no sufre corrosión.
- Zona de corrosión. Las especies estables del hierro se encuentran como iones, por lo tanto es una condición propicia para la disolución del metal. [8]

#### **2.4. Mecanismos de corrosión en el concreto:**

La integridad de una estructura de concreto armado depende tanto de la calidad de sus componentes como de su dosificación, para lograr las mejores propiedades que garanticen un periodo de vida útil prolongado. La barrera de protección que le proporciona el concreto a la varilla de acero es reforzada por el valor de pH alcalino que se alcanza después de las reacciones de hidratación del cemento, que pasivan al elemento metálico y lo protegen químicamente. Sin embargo, la interacción con el medio ambiente provoca que la protección se vea disminuida. Los principales agentes agresivos son los cloruros en regiones marinas y la carbonatación en zonas rurales e industriales. La combinación de los agentes agresivos tiene un efecto sinérgico, acelerando el proceso de degradación de las estructuras de concreto armado.

Cuando los agentes agresivos no están presentes desde la elaboración del concreto, éstos penetran a través de él cuando la estructura es puesta en servicio. Al llegar a la superficie del metal, provocan que la corrosión se

desencadene. Una vez que la corrosión se ha desencadenado, ésta se manifestará bajo tres vertientes:

1. Sobre el acero, con una disminución de su diámetro inicial y por lo tanto de su capacidad mecánica.
2. Sobre el concreto, debido a que al generarse acumulación de óxidos expansivos en la interface acero-concreto, provoca fisuras y desprendimientos.
3. Sobre la adherencia acero/concreto. (Figura 6).

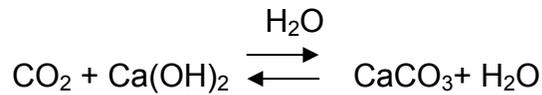


Figura 6. Corrosión del concreto y acero.

#### **2.4.1. Carbonatación:**

El pH del concreto puede cambiar por el ingreso de diversas sustancias desde el medio ambiente. Estas sustancias son principalmente el  $\text{CO}_2$  que se encuentra de manera natural en el aire y el  $\text{SO}_3$  que se produce de la combustión de combustibles fósiles. De estos, el  $\text{CO}_2$  en el aire es de mayor importancia, de ahí el nombre de carbonatación.

Inicialmente el CO<sub>2</sub> no es capaz de penetrar profundamente dentro del concreto, debido a que reacciona con el caliche del concreto superficial (Figura 5) de acuerdo con la siguiente reacción:



Dando como resultado un cambio en el pH:

$$\text{pH} = 12.5 \text{ a } 13.5 \rightarrow \text{pH} \cong 9$$

Aunque la porción de mezcla externa del concreto se carbonata rápidamente, el CO<sub>2</sub> continúa su ingreso a mayor profundidad y cuando el pH alrededor del acero de refuerzo es cercano a 9, la capa de óxido protector pierde su estabilidad termodinámica, dando paso a la corrosión del acero.

La profundidad que el CO<sub>2</sub> ha penetrado y por lo tanto que ha modificado el pH, generalmente se le llama "frente de carbonatación". Como se muestra en la figura 7.

En la práctica es útil conocer a qué velocidad progresa el "frente de carbonatación" para estimar si ha alcanzado la interface acero-concreto y poder aproximar el estado superficial que guarda la varilla metálica. La penetración del CO<sub>2</sub> está determinada por la forma de la estructura de los poros y por el volumen de ellos que está ocupando por la disolución poro del concreto, ya que la velocidad de difusión del CO<sub>2</sub> en agua es 104 veces más lenta que la velocidad de difusión del CO<sub>2</sub> en el aire.

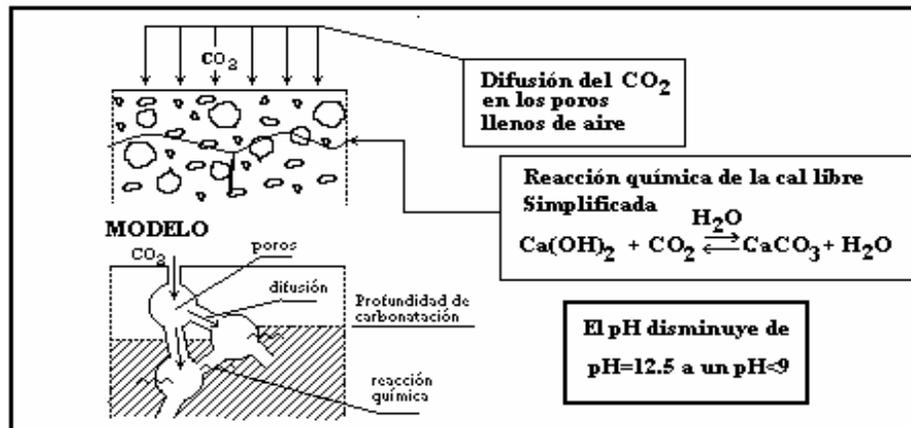


Figura 7. Proceso de carbonatación [8]

Si el poro está seco, como se muestra en la Figura 8, el CO<sub>2</sub> difunde fácilmente, pero la carbonatación no puede ocurrir debido a la falta de agua.

Este caso sólo se presenta en concreto que está sobre-secado, como ocurre en climas muy secos.

Si los poros están llenos de agua (Figura 9) hay apenas alguna carbonatación debido a la poca difusión del CO<sub>2</sub> en agua, que es el caso de estructuras sumergidas.

Si los poros están parcialmente llenos de agua (Figura 10), la carbonatación puede proceder hasta un espesor donde los poros del concreto están secos.

Los parámetros que determinan la velocidad de carbonatación, son: la composición y cantidad del cemento, la compactación, condiciones de curado y condiciones ambientales de exposición del concreto.

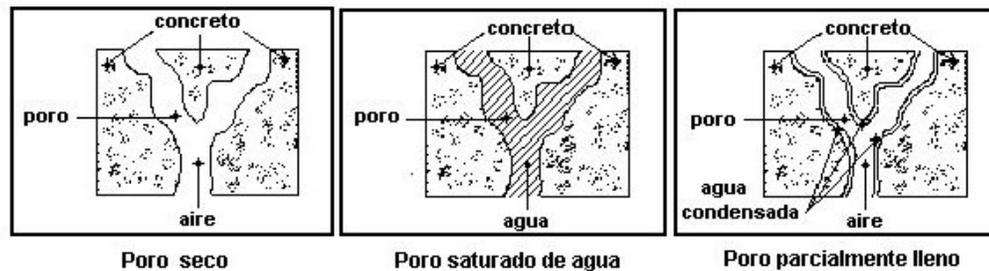


Figura No. 8 Poro seco

Figura No.9 Poro saturado de agua

Figura No. 10 Parcialmente lleno de agua [8]

La carbonatación se presenta comúnmente en medios rurales y con mayor incidencia en zonas urbanas, en las que se alcanzan grandes concentraciones de óxidos sulfurosos (SO<sub>x</sub>) y nitrosos (NO<sub>x</sub>), que son combinados con el agua de la humedad ambiental formando los respectivos ácidos sulfurosos y nitrosos. En zonas de alta contaminación ambiental y altas precipitaciones pluviales, el pH llega a tomar valores cercanos a 4, lo que se conoce como lluvia ácida, que afecta las estructuras de concreto de la misma forma que la carbonatación. [8]

#### **2.4.1.1. Técnica para determinar la presencia o no de carbonatación en el concreto:**

##### **2.4.1.1.1. Técnica de la fenolftaleína:**

Para detectar el grado de carbonatación en una estructura se rompe un pedazo de concreto (preferentemente cerca de un borde) en donde se sospeche que hay carbonatación. Después de quitar todo el polvo residual del espécimen, se pulveriza una solución de 1 o 2 % de fenolftaleína en alcohol o agua destilada sobre el concreto. Las áreas carbonatadas del

concreto no cambiarán de color. (Figura 11). Este cambio, muy apreciable de color, muestra cuán profundamente ha progresado el "frente" de carbonatación dentro del concreto.

Existen otros métodos y otros indicadores para detectar la carbonatación, pero el reseñado es uno de los más utilizado en la práctica.

Es aconsejable hacer esta prueba apenas obtenidas las muestras, pues la exposición prolongada al aire acelera el ataque del  $\text{CO}_2$  a la masa cementicia reduciendo el pH natural. Los colores desaparecen luego de algunos días de realizada la prueba. (Tabla 1). [3]

Tabla 1. Valor del pH dependiendo del color en la probeta. [6]

Color	pH
Anaranjado	5
Amarillo	7
Verde	9
Violeta	11
Azul oscuro	13



Figura 11. Fotografía que muestra una probeta a la que se le ha aplicado la técnica de la fenolftaleína. [2]

#### 2.4.1.1.2. Técnica electroquímica:

Para determinar potenciales de corrosión en probetas, se utiliza la técnica de "toma de potenciales in situ" por ser la técnica más probada y utilizada en otros proyectos anteriores. Se utiliza como electrodo de referencia el de Cu/CuSO<sub>4</sub>. (ASTM C-876 (1987)). El valor del potencial registrado permite estimar la posibilidad de corrosión, según el criterio explicitado en esta norma, registrado en la tabla 2:

Tabla 2. Evaluación del riesgo de corrosión según ASTM C-876. [2]

Potencial de corrosión (Volts vs Cu/CuSO <sub>4</sub> )	Probabilidad de Corrosión
>-0.200	<10 %
-0.200 a -0.350	Incierto
<-0.350	>90 %

#### 2.4.1.1.3. Técnica de corrosión acelerada:

Con el objeto de reproducir el estado de las armaduras de las columnas, en un tiempo prudencial, acotado por el tiempo estipulado de realización del proyecto, se procede a envejecer artificialmente a las probetas. Para ello se aplica una corriente constante a las armaduras, que actúan como ánodo, mediante un galvanostato. Ejemplo figura 12 (no está a escala).

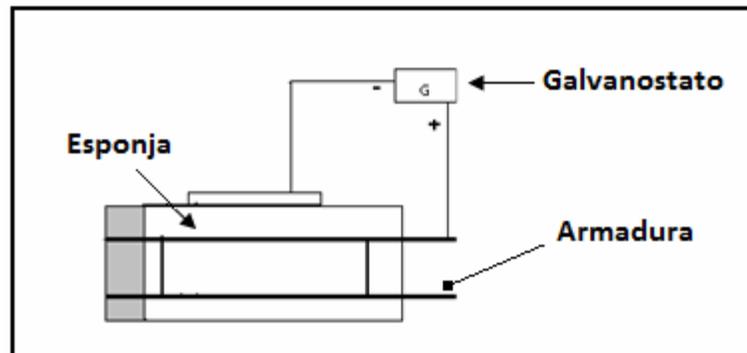


Figura 12. Esquema del proceso envejecimiento de una probeta de concreto armado [2]

La densidad de corriente aplicada es de unos  $100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , valor unas diez veces mayor a la densidad de corrosión en estructuras de concreto con importantes grados de corrosión. La profundidad media teórica de ataque a las barras se determina utilizando las leyes de Faraday, considerando corrosión uniforme en armaduras comunes de la construcción, con la siguiente expresión:

$$x = 0.0116 I_{\text{corr}} t, \text{ donde:} \quad (\text{Ec. 1})$$

$x$  representa profundidad del ataque, (mm).

0.0116: factor de conversión de unidades.

$I_{\text{corr}}$ : densidad de corriente de corrosión.

$t$ : duración del ataque, (años).

Se limita una zona de la probeta para efectuar la corrosión con contra-electrodos de acero inoxidable, Colocados externamente cubriendo los 20cm centrales.

El contacto iónico se efectúa utilizando una esponja embebida en NaCl al 3%, el electrolito utilizado es bicarbonato de sodio, ya que la disolución de la capa pasiva está principalmente controlada por la concentración de este compuesto.

#### **2.4.1.1.4. Técnica de realcalinización:**

La realcalinización es una técnica de rehabilitación de estructuras de concreto armado carbonatado, con problemas de corrosión en sus armaduras. Es no destructiva y temporal. Consiste en la aplicación de corriente eléctrica, entre la armadura del concreto y un ánodo colocado en la superficie del concreto.

El ánodo consiste en una malla de acero embebida en una solución electrolítica de pH alcalino. Los iones migran a través del concreto hacia el refuerzo, donde se produce una reacción catódica dando productos que aumentan el pH, desactivando el proceso de corrosión, que se había originado por carbonatación del concreto.

Simultáneamente tiene lugar la reacción anódica, en el ánodo colocado externamente. El proceso se monitorea para mantener la densidad de corriente en  $1 \text{ A/m}^2$  de superficie de concreto, con lecturas periódicas y ajustes, de ser necesario de corriente y voltaje (10-40V). Antes de comenzar con la aplicación de la técnica se marcan una serie de puntos, de acuerdo a la extensión a tratar, para obtener núcleos que servirán para realizarles la prueba de la fenolftaleína, y así determinar el progreso de la realcalinización.

El proceso se continua hasta que se comprueba la alcalinidad de la interface acero-concreto, hecho que evidencia que la armadura se ha

repasivado, o sea la corrosión se ha detenido. Posteriormente se procede a desmantelar el sistema instalado, y rellenar los huecos taladrados. [3]

#### **2.4.2. Cloruros:**

La corrosión inducida por cloruro se presenta en nuestro país en estructuras expuestas al medio marino. Los iones cloruro están presentes en el agua de mar, pero es posible que también los desplace el viento de la brisa marina a la zona costera y los deposite en estructuras de concreto cercanas a la línea de mar. Otra fuente de cloruros es en el agua de amasado, lo cual aumenta el alto riesgo de corrosión.

De acuerdo al modelo de vida útil, también es necesario que los iones cloruro avancen desde el exterior hasta llegar al nivel de la varilla. Una vez que llegan al acero, se acumulan hasta alcanzar una concentración crítica, la cual tiene la capacidad de romper la estabilidad de la película pasiva y dar inicio al proceso de corrosión.

Los iones cloruro pueden estar presentes en el concreto de tres maneras: enlazados, adsorbidos y disueltos en el agua que se conserva en los poros, lo que constituye la disolución poro. La Figura 13 ilustra los tres casos, e indica los equilibrios que se establecen para los cloruros en el concreto. [7]

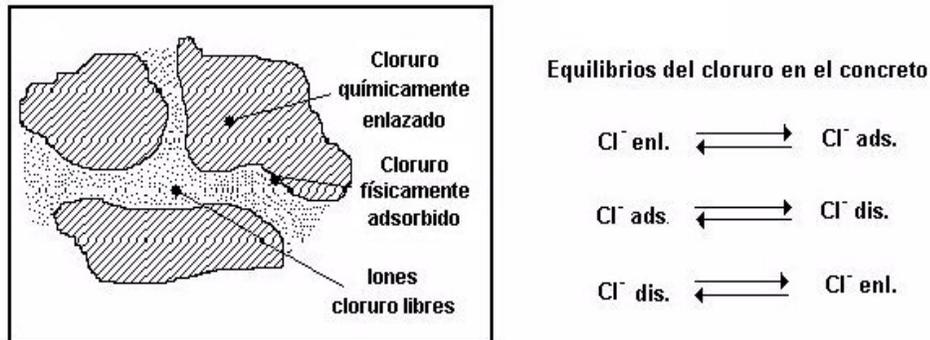


Figura 13. Equilibrios del ion cloruro en el concreto. [8]

Los iones cloruro que son dañinos para el acero de refuerzo son los que se hallan disueltos o libres, pero debido a los equilibrios que se presentan es posible que los que están adsorbidos se incorporen a la disolución y se tornen peligrosos.

Cuando se utiliza agua de amasado con cloruros, cierta cantidad reacciona con los compuestos hidratados del concreto para formar las sales de Friedel, otra cantidad se adsorbe en la superficie de las paredes de los poros y sólo una parte queda disuelta. Esta distribución depende del tipo y la cantidad de cemento con que se dosifique al concreto.

En el caso de una fuente externa de iones cloruro, el acceso es a través de los poros del concreto. Al avanzar al interior una cantidad reacciona, otra se adsorbe y otra fracción queda disuelta. El medio de exposición es determinante para el ingreso de los iones cloruro. En una estructura sumergida en agua de mar, el mecanismo lo determina la diferencia de concentración entre el exterior y el interior del concreto, es decir, se favorece un proceso difusivo. En obras que se hallan a la intemperie, durante el día, por efecto de la humedad relativa del ambiente, se evapora una cierta

cantidad de agua contenida en los poros, quedando parcialmente llenos. Si la brisa marina deposita sal sobre su área superficial, el ingreso del ion es por succión capilar, o sea cuando la humedad relativa permite la formación de una película superficial de agua (punto de rocío) que es succionada por los poros capilares para llenarse nuevamente. En la succión, la sal que se depositó durante el día es arrastrada por el agua condensada y penetra al interior del concreto. Una combinación de las dos formas de ingreso de cloruro se observa en la zona de variación de marea, en la que los poros eliminan agua durante marea baja y se saturan en marea alta.

En el caso de los cloruros que pudieran ser adicionados durante el amasado del concreto, los códigos de fabricación y de cálculo de estructuras de concreto de todos los países limitan su contenido en proporciones variables, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Valor crítico de cloruros en concretos reforzados. [8]

PAIS	NORMA	LIMITE MAS DE C1	REFERIDO A
USA	AC1 318	≤ a 0.15% en ambiente de C1	cemento
USA	AC1 318	≤ a 0.15% en ambiente normal	cemento
USA	AC1 318	≤ a 1% en ambiente seco	cemento
INGLATERRA	CP-110	≤ a 0.35% al menos en un 95%	cemento
AUSTRALIA	AS 3600	≤ al 0.22%	cemento
NORUEGA	NS 3474	≤ al 0.6%	cemento
ESPAÑA	EH 91	≤ al 0.40%	cemento
EUROPA	EUROCODIGO	≤ al 0.22%	cemento
JAPON	JSCE-SP 2	≤ al 0.6Kg/m <sup>3</sup> %	concreto
BRASIL	NBR 6118	≤ al 0.05%	agua

Las divergencias en las cantidades máximas de cloruros admitidas por los distintos códigos aparecen debido a la inexistencia de un límite único de aplicación general. Ello se produce tanto por las diferencias de características de los cementos (su contenido en álcalis y velocidad de hidratación), como por los distintos tipos de acero utilizados (composición química, rugosidad superficial y estado de conservación), así como por las distintas materias potencialmente suministradoras de los cloruros.

En relación a este límite máximo de cloruros es importante mencionar que parte de ellos se puede combinar con las fases alumínicas y ferríticas de los cementos, por lo que los más peligrosos son los que quedan sin combinar o “libres”. La proporción cloruros entre libres y cloruros combinados no es constante, ya que está influida por la finura del cemento, su contenido en yeso, la temperatura durante el fraguado y la humedad de los poros del concreto.

En cuanto a los cloruros que penetran desde el exterior es necesario diferenciar el caso de ambientes marinos de aquellos donde se hace uso de las sales de deshielo, ya que sus proporciones relativas en el exterior del concreto pueden ser muy diferentes. Así, mientras el agua o ambiente marino contiene una cierta proporción constante de cloruros, en el caso de las sales de deshielo, su proporción exterior será proporcional a la cantidad de sales que se emplean al año debido a la frecuencia y duración de las heladas.

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

- El tiempo que tardan en llegar hasta la armadura.

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

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

La velocidad de avance de los cloruros es, una función de la raíz cuadrada del tiempo; Ya que, en general, tanto los procesos de difusión pura, como los de absorción capilar, siguen una ley potencial.

$$X_{C1} = K_{C1} \sqrt{t}, \text{ donde:} \quad (\text{Ec.2})$$

$X_{C1}$  = profundidad alcanzada por una cierta proporción de cloruros (mm).

$t$  = tiempo (años).

$K_{C1}$  = constante dependiente del concreto y del medio.

El cálculo riguroso de  $X$  es complejo debido a la multitud de parámetros que influyen (porosidad del concreto, tipo de cemento, nivel de contaminación exterior, contenido en humedad del concreto, etc.). Una de las expresiones matemáticas que más se emplea para efectuar la predicción de la velocidad de penetración, o para ser ajustada a los perfiles de

concentración de cloruros encontrados en las estructuras reales (Figura 14), es la solución a la segunda ley de Fick:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad \text{Ec.3}$$

Siendo D el coeficiente de difusión de la especie de concentración c.

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

$$C_x = C_s \left(1 - \text{erf} \frac{X_{c1}}{\sqrt{D_{ap} t}}\right), \text{ donde:} \quad \text{Ec.4}$$

$C_x$  = concentración a la distancia (%).

$C_s$  = concentración superficial (%).

$X_{c1}$  = profundidad alcanzada (cm)

$D_{ap}$  = coeficiente aparente de difusión (adimensional).

Erf= error función.

t = tiempo (años)

Esta ecuación, aunque se utiliza muy ampliamente, es igualmente reconocida como de limitado uso con fines de predicción, dado el comportamiento no rigurosamente “de Fick” que presenta la penetración de cloruros en el concreto. [8]

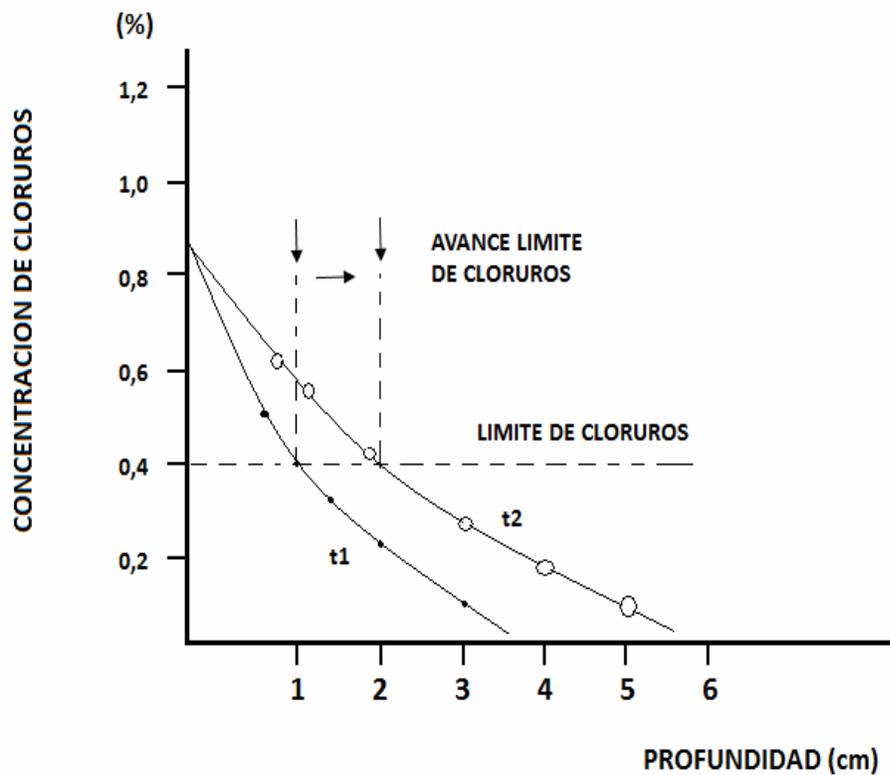


Figura 14. Perfil de Concentración de Cloruros en el Concreto. [8]

Con fines prácticos incluyendo el caso de las sales de deshielo parece mucho más apropiado el uso de la simple ley de la raíz cuadrada ( $Ec.2$ ) ya que engloba de forma aproximada todos los mecanismos posibles.

Así, se puede deducir en la Figura 15, que es necesario una constante  $K_{C1}$  entre 3 y 4 mm/año, 0.5 si se quiere asegurar que los cloruros no lleguen a más de 3-4 cm de profundidad en un periodo máximo de 75 años.

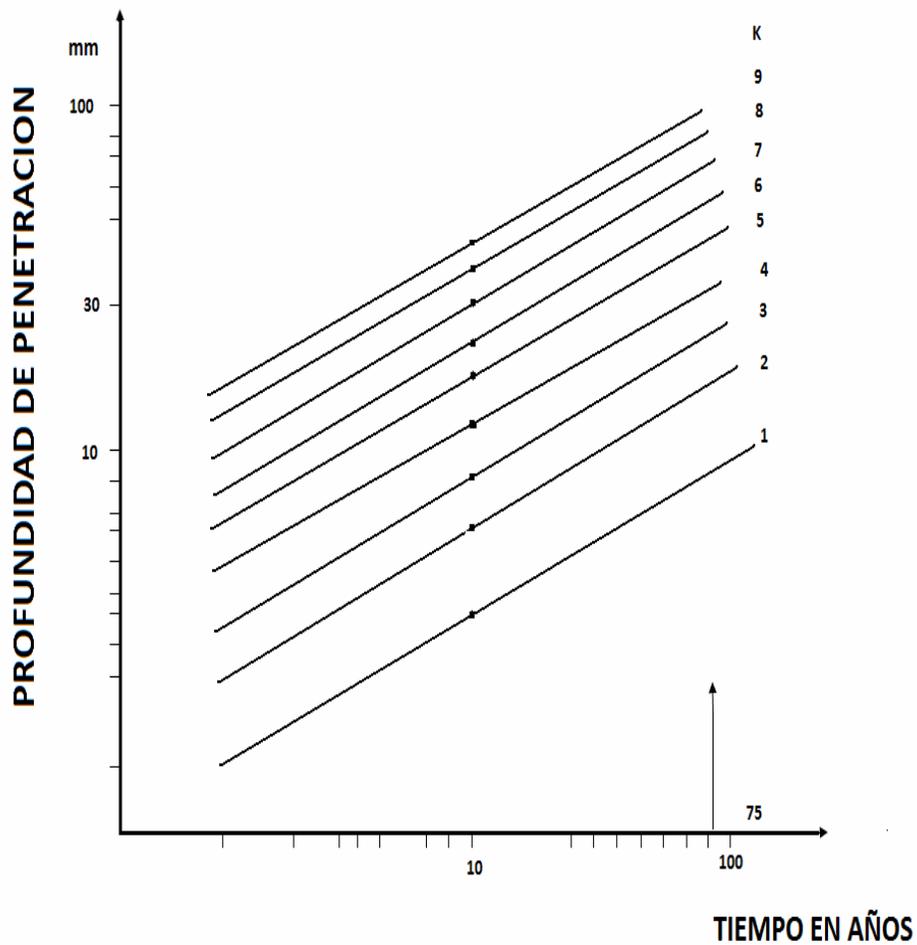


Figura 15. Representación doble logarítmica de la ley de la raíz cuadrada del tiempo: el valor de K se manifiesta en líneas paralelas de pendiente 0.5. [8]

En cuanto al límite para la despasivación, puede ser lógicamente diferente en el concreto endurecido que en el fresco, aunque los códigos no abordan este problema y se considera el mismo límite para las dos circunstancias. Sin embargo, se ha detectado que muchos concretos soportan cantidades muy superiores a este límite sin que las armaduras muestren signo alguno de corrosión. Ello es debido a la influencia de factores como el

potencial eléctrico de la armadura (que refleja el contenido en oxígeno entre otras circunstancias) y el pH de la solución de los poros (relación  $\text{Cl}^-/\text{OH}^-$ ).

Todo ello lleva a la tendencia futura de delimitar una proporción de cloruros que supongan un riesgo estadístico de corrosión de la armadura, en lugar de fijar un valor único para este límite. [8]

## **2.5. Deterioro físico de las estructuras de concreto armado:**

### **2.5.1. Factores que afectan la calidad del concreto.**

- a) Espesor de los recubrimientos.
- b) Permeabilidad, donde intervienen la forma y el tipo de curado mediante la relación agua/cemento.
- c) Cantidad y calidad del cemento.

## 2.5.2. Causas que afectan un buen comportamiento de las estructuras de concreto armado. [6]

### Causas relativas al diseño de la estructura.

- Inexactitud de las hipótesis de cálculo.
- Sobre la magnitud de las acciones y sus combinaciones.
- Sobre la resistencia y capacidad de carga de las secciones.
- Sobre la magnitud de las formaciones consideradas.
- Con relación a las características mecánicas de los materiales.
- Poca rigurosidad en los métodos de análisis.
- Para determinar el estado de esfuerzo bajo solicitaciones simples y combinadas.
- Para definir las condiciones de estabilidad local y global (estática, de forma, contra-venteo, etc.).
- Para tomar en consideración los efectos reológicos y los fenómenos térmicos, bajo gradientes de temperatura.
- Errores en el diseño.
- Errores en el dimensionamiento y ausencia de verificación.
- Factores de seguridad insuficientes.
- Omisión en la consideración de las variaciones dimensionales.
- Carencia de previsión en los mecanismos de transmisión de esfuerzos (nodos débiles, concentración de esfuerzos, empujes no equilibrados, etc.)
- Falta de exactitud en la ubicación de las juntas de construcción.

### Causas relativas a la ejecución.

- Documentación insuficiente.
- Insuficiente verificación de la documentación que se entrega en obra.
- Errores en las cotas y niveles o las indicaciones de tolerancia.
- Ausencia de planos de detalles y forma de ejecución.
- Falta de información sobre secuencias de ejecución.
- Deficiencias del control de calidad.
- Materiales de baja calidad o defectuosos, productos y componentes inadecuados.
- Ausencia del control adecuado del acero y el concreto al momento de la ejecución.
- Falta de cumplimiento de las exigencias tecnológicas sobre aditivos, calidad de agua, curado, temperatura de vaciado, tiempo de desencofrado, etc.
- Causas debidas a las condiciones de la puesta en obra.
- Falta de adecuada inspección en la ejecución de la obra.
- Deterioro de los materiales por exposición inadecuada en medio ambiente agresivo.
- Daños causados por diferir los trabajos de reparación de urgente ejecución.
- Deterioro ocasionados por causas imprevistas o intencionales por problemas laborales con los obreros.
- Falta de puntualidad en la entrega de los materiales lo cual ocasiona dilataciones en normal desarrollo de los trabajos.
- Mano de obra defectuosa o poco capacitada en trabajos de especialización.

### Causas dependientes del paso del tiempo.

- Disminución de la vida útil de servicio remanente.
- Medio ambiente agresivo, lluvias acidas, polución, hollín, humo, atmosfera marina, etc.
- Envejecimiento natural de los materiales.
- Efectos de fatiga y cargas alternadas repetidas.
- Acción aditiva de las causas mencionadas de deterioro.

### Causas debidas a las condiciones de uso y funcionalidad.

- Acciones abusivas.
- Incremento del paso previsto de vehículos de carga pesados.
- Acopio excesivo de materiales en algunas áreas de la construcción.
- Aumento indiscriminado de pisos superiores en ciertas áreas de la edificación.

### Efectos naturales o acciones fortuitas.

- Problemas de suelos y fundaciones.
- Cedencia de fundaciones, deslizamientos de taludes, descensos diferenciales de los cimientos, erosiones, etc.
- Suelos agresivos o con desechos contaminantes.
- Ascenso imprevisto del nivel freático.
- Filtraciones del agua de lluvia, inundaciones por el desborde del cauce de los ríos.
- Acciones fortuitas.
- Incendios por negligencias o rotura de tuberías de gas o acopio de materiales inflamable.
- Tifones, ciclones o vientos huracanados.
- Movimientos telúricos debidos a sismos, volcanes o tsunamis.
- Cargas de impacto en general, choque de vehículos, explosiones, caída de aviones, etc.

### 2.5.3. Agrietamiento:

Las causas del agrietamiento pueden ser muy variadas y su detección no siempre es fácil, sin embargo, el conocimiento de las mismas es importantísimo para saber el porqué se ha producido a fin de poner remedios o aplicar una terapéutica adecuada. (Figura 16).



Figura 16. Columna que sufre de agrietamiento. [4]

#### 2.5.3.1. Causas de agrietamiento:

##### 2.5.3.1.1. Retracción:

Se originan fisuras debidas a variaciones espontáneas del concreto en estado plástico. Se divide en: Hidráulica y térmica.

##### 2.5.3.1.1.1. Retracción hidráulica:

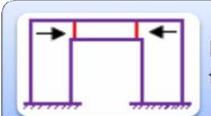
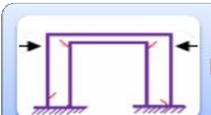
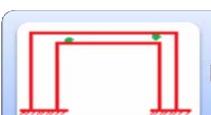
Es la variación de contracción del concreto, originadas por tensiones de compresión locales que son consecuencias de la evaporación progresiva del agua de los poros del concreto que se encuentra en un ambiente seco, esta

evaporación del agua es una de las causas frecuentes de grietas en el concreto. La retracción se relaciona con la relación agua-cemento.

### 2.5.3.1.1.2. Retracción térmica:

El calor generado en la hidratación del cemento tiene influencia en la formación de fisuras, debido principalmente a la baja conductividad del concreto que hace que exista un gradiente térmico entre el interior de la masa y la superficie, dando lugar a un enfriamiento de las capas externas y consecuentemente contracciones de las mismas, mientras el núcleo está aún caliente y dilatado. (Tabla 4).

Tabla 4. Diferentes tipos de retracciones. [9]

	Movimiento libre (no tiene fisura)
	Movimiento coartado (se puede fisurar)
	Pilares de mucha rigidez (rompe la viga por mucha tracción)
	Pilares de poca rigidez (rompe los pilares por fricción)
	En vigas
	En pilares

### 2.5.3.1.2. Entumecimiento:

Se debe específicamente a la oxidación de las armaduras (corrosión), el aumento del volumen del acero, aproximadamente unas diez veces somete al concreto circundante a tracciones. Las fisuras que se originan son paralelas a las armaduras y permiten la propagación de la corrosión química.

### 2.5.3.1.3. Variaciones de temperaturas:

Es una causa importante y frecuente del desarrollo de grietas en el concreto. Pueden producirse por dilatación al calentarse el material o por retracción al enfriarse. En las obras de concreto, el calor puede tener dos orígenes diferentes: el debido a las reacciones exotérmicas de hidratación del cemento y el debido al medio ambiente. (Figura 17).



Figura 17. Columna que sufre de variaciones de temperatura. [4]

#### 2.5.3.1.4. Exceso de carga:

En el concreto endurecido, la causa fundamental por la que se producen grietas, es la sollicitación de los elementos estructurales más allá de su capacidad portante (presencia o acumulación de pesos no previstos en el cálculo). Este tipo de daños se presenta principalmente en vigas y losas y a veces se producen por corte cerca de los muros o de las columnas. La posición de las grietas permite a veces establecer claramente las causas originarias. (Figura 18). [11]

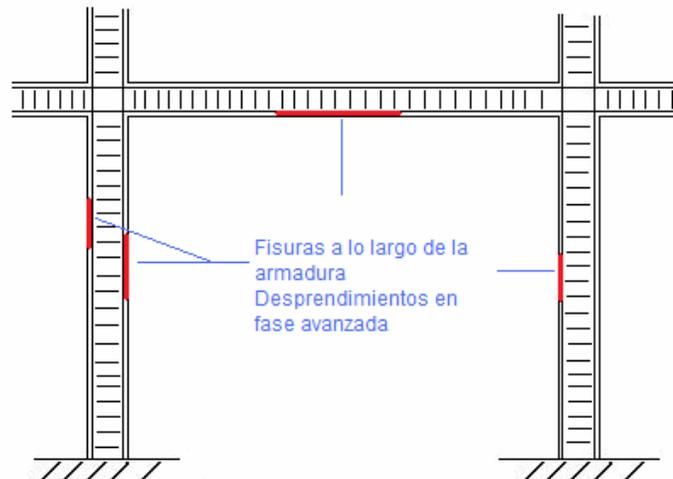


Figura 18. Pórtico agrietado por exceso de carga. [9]

#### 2.5.3.1.5. Asentamientos:

Cuando una parte de un elemento o de una estructura se mueve verticalmente (asciende o desciende) respecto a otra adyacente, y lo hace con suficiente magnitud, se producen grietas usualmente por corte, como se muestra en la figura 19. Las causas pueden ser fundaciones mal hechas o defectos constructivos o de uso o problema por presencia de filtraciones, por arcillas expansivas. [9]

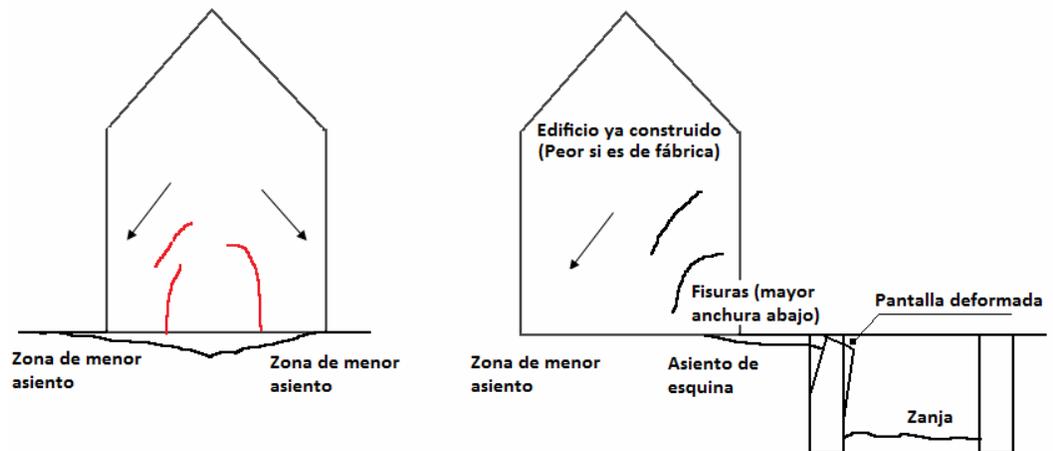


Figura 19. Representación de asentamientos [9]

#### 2.5.1.2.6. Por acciones mecánicas:

Aparecerán fisuras en el elemento endurecido debidas a las deformaciones, que son consecuencias directa de las fuerzas aplicadas, entre ellas: fisuras de compresión, de tracción, de flexión, torsión y cortante.

#### 2.5.3.1.7. Fisuras por compresión:

El concreto sometido a la acción de esfuerzos de compresión simple puede figurarse si el valor del esfuerzo es suficiente para agrietarlo. Las fisuras de compresión son paralelas a la dirección del esfuerzo. Las fisuras pueden tener trazados diferentes a los indicados si la pieza está coaccionada de deformarse en determinadas zonas (aparecerán grietas con ángulos), es decir, cuando existe el efecto de zunchado en la parte superior e inferior de la misma ejercido por el rozamiento del concreto con los platos de la prensa, que dan lugar a la aparición de esfuerzos cortantes que se combinan con los de compresión. En las columnas la aparición de fisuras de compresión es muy peligrosa siendo síntoma precursor de un hundimiento inmediato de la

zona afectada. Las grietas de compresión empiezan a hacerse visibles con esfuerzos inferiores a los de rotura y van aumentando de forma continua. (Figura 20).

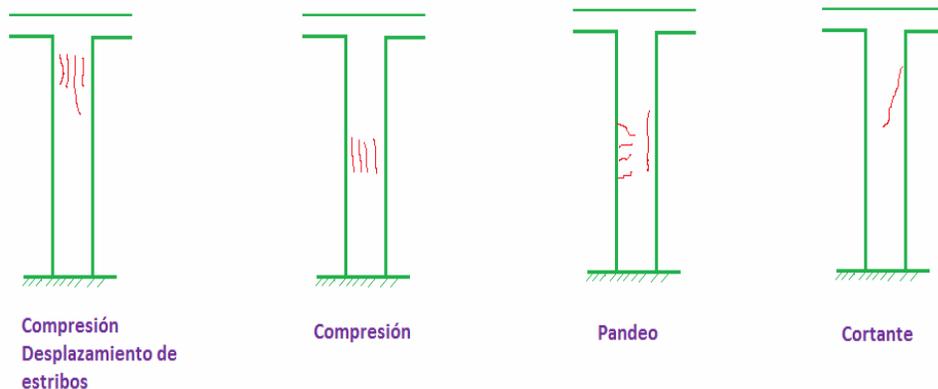


Figura 20. Diferentes fisuras a compresión. [9]

#### 2.5.3.1.8. Fisuras por flexión:

Las fisuras de flexión son las más conocidas y frecuentes en concreto armado, presentan diferentes formas según corresponda a flexión pura o flexión combinada con esfuerzos cortantes. En flexión simple. Las fisuras aparecen en las proximidades de las armaduras sometidas a tracción y progresan verticalmente buscando la línea neutra, a la vez que su anchura va disminuyendo y luego involucrarse buscando el punto de aplicación de las cargas y desapareciendo en la zona de compresión.

Si la flexión es compuesta; es muy posible que sea la fibra más comprimida la que primero sufra la fisuración. Las fisuras de flexión avisan con tiempo por lo que se pueden tomar medidas sobre las causas que la han motivado. Las fisuras de flexión suelen ser anchas y separadas si el acero

que se emplea como armadura de tracción es ordinario, y son estrechas y abundantes cuando se usa acero corrugado. (Figura 21).

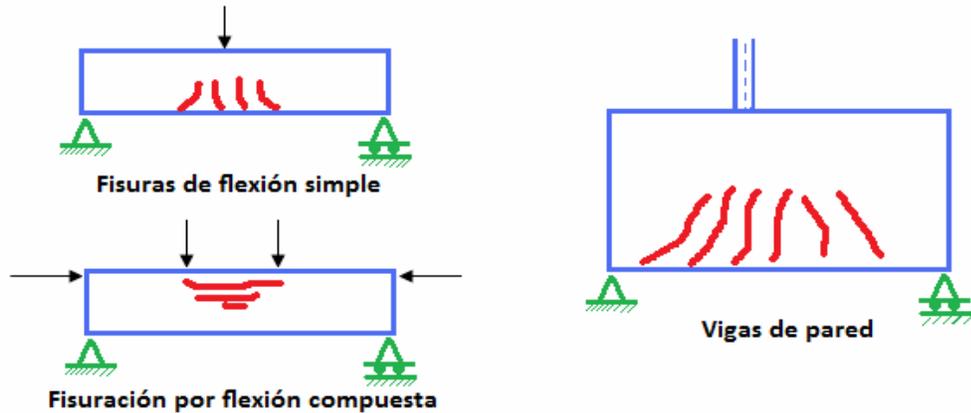


Figura 21. Fisuras a flexión. [9]

#### 2.5.3.1.9. Fisuras por corte:

En el caso de esfuerzos cortantes simples, como la resistencia a tracción es mucho menor que la compresión, las fisuras serán perpendiculares a la tensión de tracción. Las fisuras de cortante suelen aparecer en el alma de las vigas progresando hacia las armaduras para llegar finalmente hasta los puntos de aplicación de la carga con lo cual dividirán las piezas en dos partes.

En vigas de hormigón armado sometidas a cargas uniformes, las fisuras aparecen próximas a los apoyos, si los estribos o barras dobladas son de cuantía deficiente, como se muestra en la figura 22.

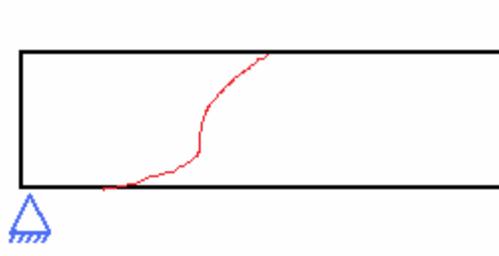


Figura 22. Fisura por cortante de una viga [9]

#### 2.5.3.1.10. Fisuras por torsión:

Los esfuerzos de torsión dan lugar a fisuras inclinadas a  $45^\circ$  que aparecen en las diferentes caras de las piezas. Este tipo de fisuras es frecuente en estructuras de edificios cuando no se ha tenido en cuenta el efecto de torsión que se origina colocando las armaduras precisas para absorberlo. En general se les presta poca atención a los efectos de torsión (Figura 23).

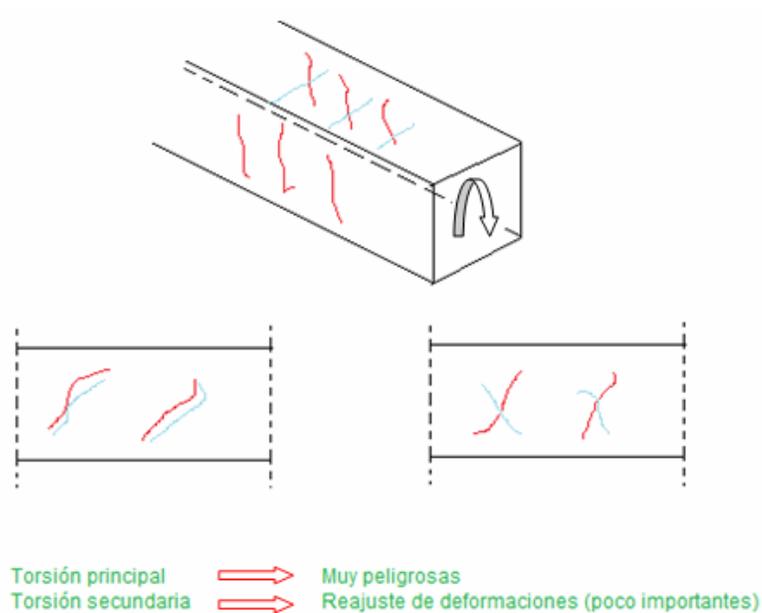


Figura 23. Viga fisurada por torsión [9]

#### 2.5.3.1.11. Fisuras por tracción:

La acción de esfuerzos de tracción axial origina fisuras que presentan superficies perpendiculares a la dirección del esfuerzo. Estas fisuras son pocos frecuentes en el concreto armado por impedir las armaduras, sin embargo cuando las deformaciones de éstas son importantes pueden aparecer coincidiendo, en general, con el lugar donde están colocados los estribos aparecen de forma súbita y atraviesan toda la sección. (Figura 24).



Figura 24. Elemento fisurado a tracción. [7]

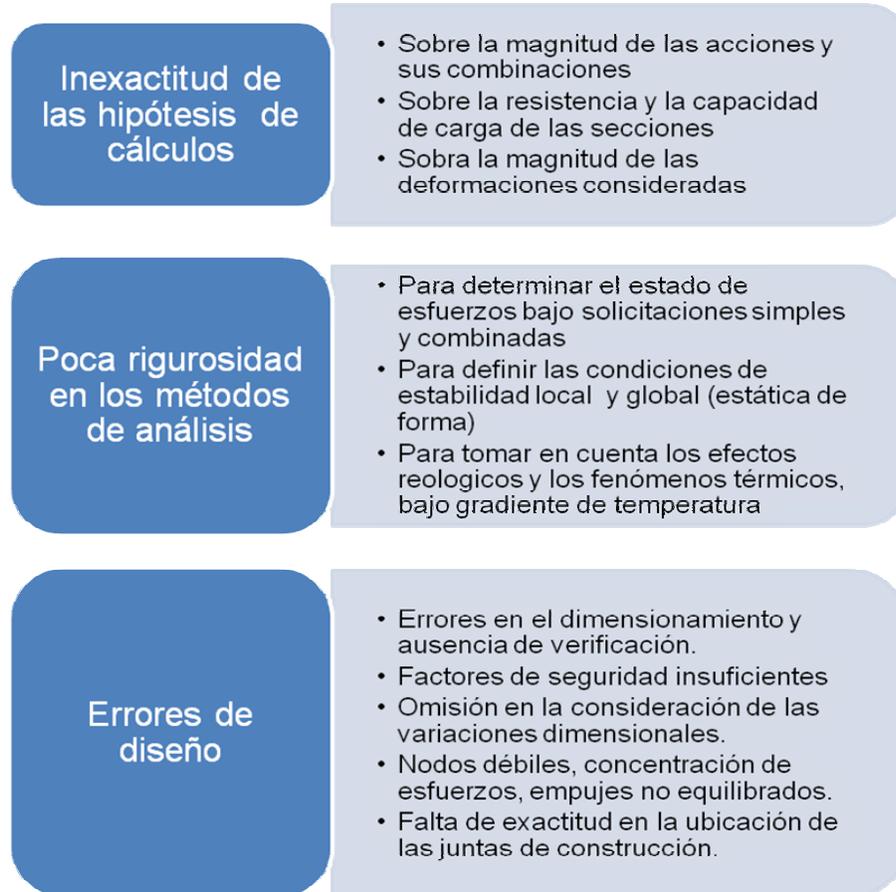
#### 2.5.3.1.12. Fisuras causadas por sismos:

Las fuerzas de sismo producen en los edificios vibraciones, aceleraciones y desplazamientos que pueden causar daños de variable gravedad, hasta provocar la ruina de la construcción, según las características estructurales y la intensidad del movimiento telúrico. Entre los daños ocasionados por sismos se puede mencionar:

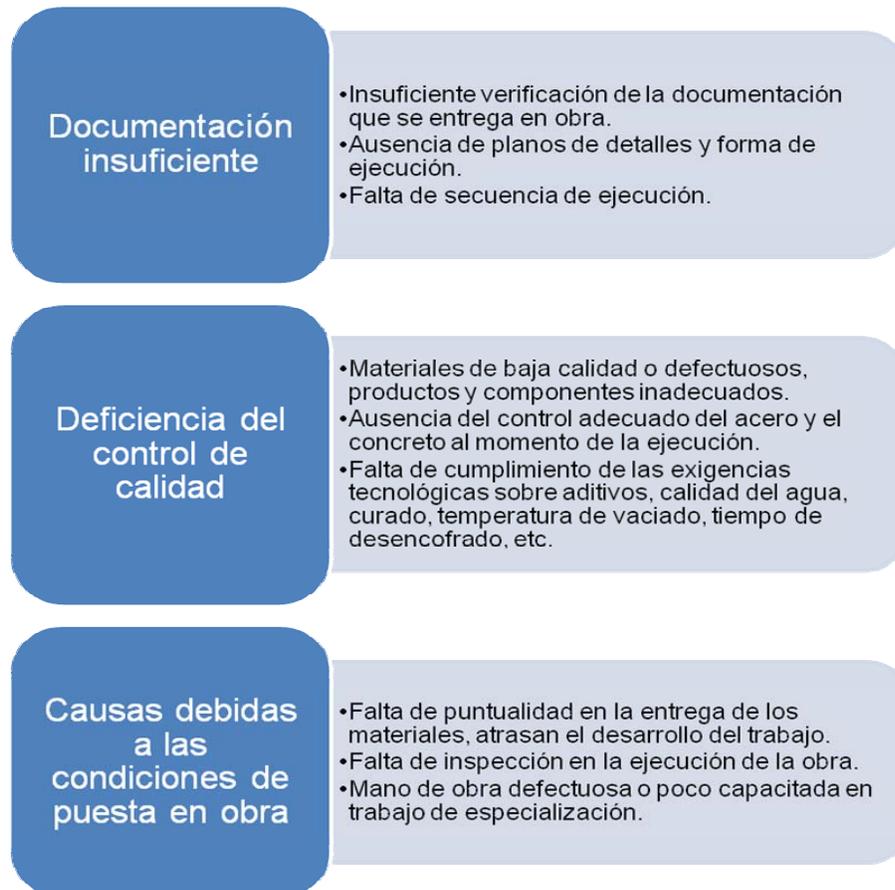
- Fisuración y caída de recubrimientos.
- Grandes desplazamientos laterales.
- Daño en el tope de los edificios.
- Impacto en edificios próximos.

- Aplastamiento y pandeo (global o local) de miembros comprimidos.
- Fallas por flexión y corte en columnas y muros.
- Desintegraciones en uniones defectuosas.
- Efectos torsores y de volcamiento.
- Derrumbe total o parcial de la edificación.
- Deslizamientos de suelos.
- Licuefacción del suelo de fundación.

#### 2.5.3.1.13. Fisuras causadas por errores del proyecto. [6]:



#### 2.5.3.1.14. Debidas a la ejecución [6]:



#### 2.5.3.1.15. Fisuras debidas a problemas del propio concreto:

Producidas por problemas intrínsecos del propio concreto, especialmente ligadas al proceso de fraguado. Pueden estar ligadas a la fabricación o de puesta en obra del concreto, pero no son estructurales.

#### 2.5.4. Tipos de fisuras:

Se pueden producir 5 tipos de fisuras:

### 2.5.4.1. Microfisuras:

Las que se producen en el concreto por la normal retracción del fraguado. Su abertura no es mayor a 0.05mm y su presencia no afecta la durabilidad de las estructuras, ni favorece la corrosión de las barras de acero. (Tabla 5).

Tabla 5. Valores de anchos máximos de fisuras permitidos correspondientes a diferentes investigadores y reglamentos. [7]

Investigador o reglamento	Condiciones de exposición	Anchos máximos permisibles de fisuras (mm)
Brice	Severa	0.10
	Agresiva	0.20
Rusch	Normal	0.30
	agresiva (agua salada)	0.20
	Normal	0.12 a 0.30
Eisen	Severa o agresiva	0.05 a 0.15
	Normal (exterior)	0.15 a 0.25
	Normal (interior)	0.25 a 0.35
Reglamento ACI 1963	Exterior	0.25
	Interior	0.40
CEC (Comité Europeo del Concreto)	Interior, ambiente normal	0.30
	Interior, ambiente agresivo	0.20
	Exterior	0.20
	Muy agresivo o cuando se requiere estanqueidad	0.10
CFE (Comité Federal de Electricidad Manual de Diseño de Obras Civiles)	Interior	0.30
	Agresivo	0.20
	Agresivo cuando se requiere impermeabilidad	0.10
	Cargas accidentales	0.40

#### 2.5.4.2. Fisuras:

Son las producidas por la aplicación de las cargas en régimen de servicio. En general son poco peligrosas, salvo en ambientes agresivos en los que pueden favorecer la corrosión. (Tabla 6).

Tabla 6. Valores límites aceptados para la abertura máxima de una fisura. [7]

Ubicación de la estructura	Máxima abertura permitida
Elementos interiores en atmósfera normal.	0.3 mm
Elementos interiores en atmósfera húmeda o agresiva o elementos exteriores a la intemperie con lluvias y heladas.	0.2 mm
Elementos interiores o exteriores en medios particularmente agresivos o debiendo asegurar estanquidad.	0.1 mm

#### 2.5.4.3. Fisuras vivas:

Son aquellas que están sometidas a movimientos y a cambios en su amplitud o espesor, producidas por acciones de magnitud variable que van a provocar deformaciones también variables en el concreto, entre ellas: las fisuras de origen térmico, las fisuras de flexión provocadas por acciones dinámicas sobre elementos estructurales. Tratar de dar monolitismo a un concreto roto por este tipo de fisura es inútil, pues el concreto abrirá por el mismo lugar, o por otro totalmente diferente.

#### 2.5.4.4. Fisuras muertas:

Son estabilizadas presentando siempre la misma amplitud, una vez que han llegado a su máxima amplitud, la mantienen debido al cese de la causa que las produjo, este tipo de fisuras son las de retracción hidráulica, por asiento diferencial de la cimentación que esté estabilizado, etc.

#### 2.5.5. Desagregaciones:

Consisten en la degradación del cemento que deja de funcionar como aglomerante y en consecuencia deja libres los áridos. Las causas de las desagregaciones suelen ser ataques químicos, sobre todo sulfatos y cloruros.

El proceso es lento y empieza generalmente con un cambio de coloración, seguido de la formación de fisuras entrecruzadas que van aumentando progresivamente. A continuación la superficie se va abarquillando, hasta que se desprende y se va desintegrando la masa del concreto. (Figura 25).



Figura 25. Iniciación de la desagregación de una columna. [22]

### 2.5.6. Disgregaciones:

Las disgregaciones son roturas que se producen desde el interior del concreto por esfuerzos internos que produzcan fuertes tracciones, que el concreto no puede resistir.

Las disgregaciones pueden producirse por causas muy diversas. Así la corrosión de armaduras o las deformaciones muy fuertes, que producen disgregación del concreto superficial. También pueden producirse fenómenos de disgregación al helarse agua que haya podido penetrar en cavidades internas. Un caso que puede ser grave es la congelación de agua que se haya podido depositar en las vainas de pretensado en la fase de construcción. (Figura 26). [9]



Figura 26. Disgregación del concreto producido por corrosión de armaduras. [11]

### 2.5.7. Cambios de color:

Producidos por el efecto de cloruros, diversos aditivos o desmoldeadores.

### 2.5.8. Eflorescencias:

Producidas por diversas sales solubles que puedan contener el agua de amasado o de curado y que cristalizan en la superficie del concreto. (Figura 27). [11]

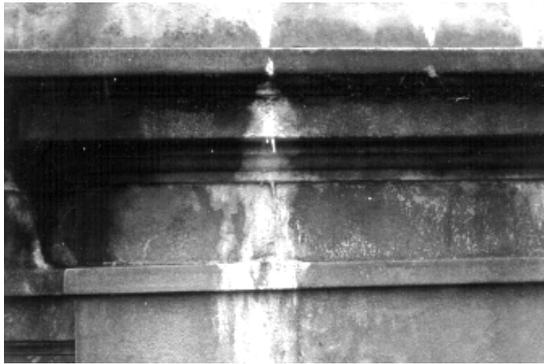
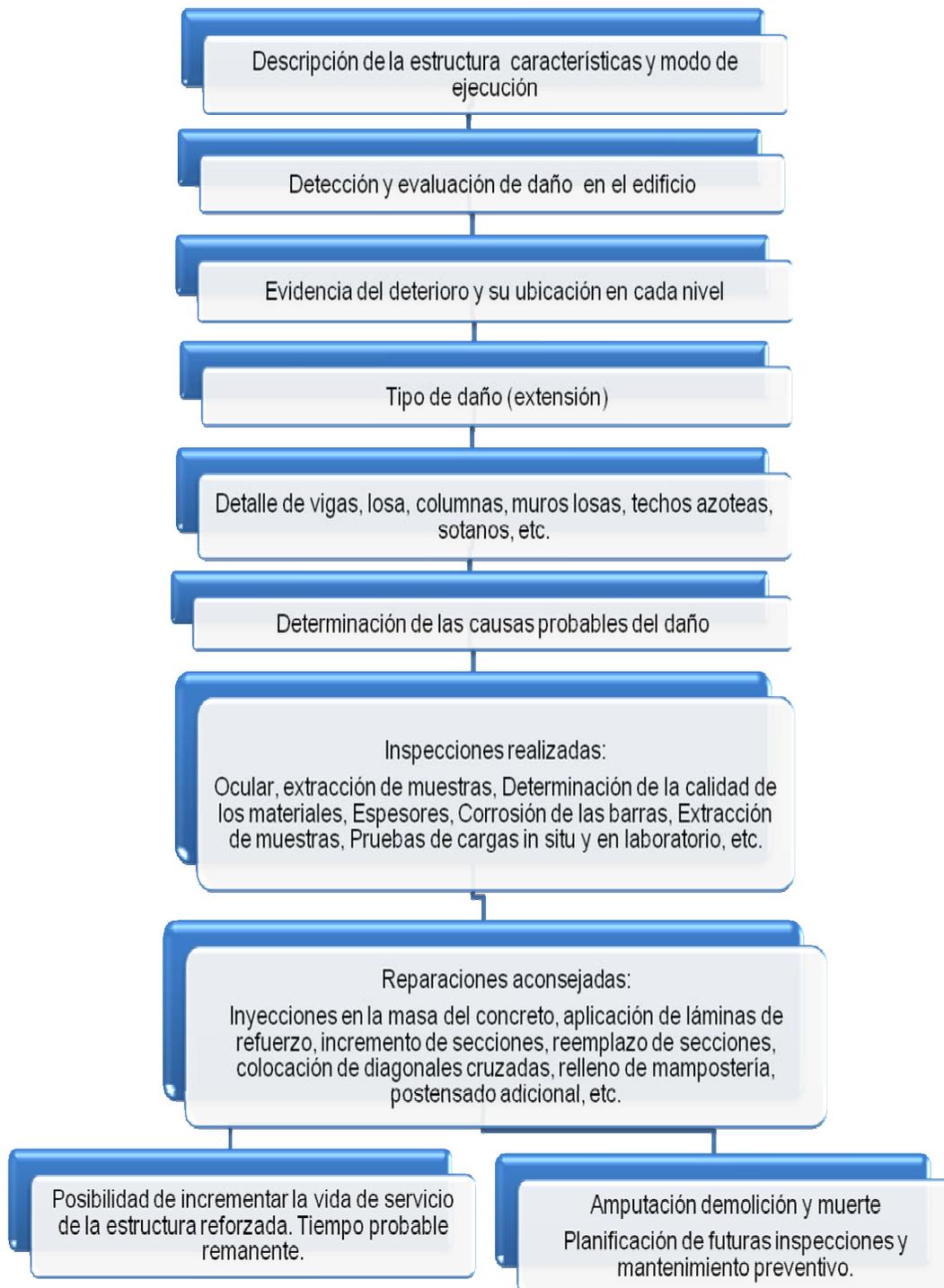


Figura 27. Eflorescencia en superficie de concreto. [11]

### 2.6. Propiedades del concreto que permiten un buen comportamiento en medio ambiente agresivo.

- a) Baja permeabilidad, lograda con masa de baja porosidad.
  - b) Factor agua/cemento reducido y suficiente curado.
  - c) Buen control de la retracción para evitar micro fisuras prematuras.
- Alta resistencia inicial y aumento de la misma en el tiempo. [6]

## 2.7. Esquema de un proceso patológico:



## **2.8. Métodos de detección y evaluación de daños:**

Para conocer la magnitud del daño alcanzado en un sistema estructural que reduce su capacidad resistente se deben aplicar métodos de detección y evaluación de los deterioros, de acuerdo al tipo de material y características de toda la estructura entre los cuales tenemos:

### **2.8.1. Observación ocular:**

Con este método se puede deducir el grado de deterioro de los miembros estructurales, la falta de verticalidad o desplome de los soportes, la presencia y tipo de fisuras y muchas otras características que permitan decidir acerca del tipo de monitoreo aconsejable en la estructura. Con la observación ocular se detallaran los daños detectados y su ubicación en plantas y elevaciones. La observación de fisuras puede llevarse a cabo a simple vista o con ayuda de instrumentos especiales.

### **2.8.2. Monitoreo de fisuración:**

#### **2.8.2.1. Ancho de la superficie:**

El ancho de las fisuras se determina por medida comparativa mediante galgas i mediante lupas especiales provistas de escala graduada.

#### **2.8.2.2. Profundidad de la fisura:**

No es fácil de medir, una de las técnicas es colocar material coloreado y luego sacar núcleos cuidadosamente de la parte agrietada.

### **2.8.2.3. Evolución del estado de fisuración:**

Permite apreciar cuando se ha producido la estabilización por ende, conocer la seguridad en servicio de la estructura. La estabilización puede ser estática o dinámica, en la primera parte el ancho de la fisura crece, hasta una cierto valor, sin variaciones, en la segunda el ancho de las fisuras varía entre dos límites alrededor del ancho medio que es fijo. (Figura 28). La evolución puede apreciarse por:

#### **2.8.2.3.1. Progresión en la longitud:**

Se observa marcando con un lápiz de color la longitud de las fisuras existentes.

#### **2.8.2.3.2. Nuevas grietas:**

Se observan mediante el procedimiento anterior pero conviene emplear colores diferentes en cada impresión.

#### **2.8.2.3.3. Aumento en el ancho:**

Se pegan laminas delgadas de vidrio sobre la fisura, en caso de abertura de esta se romperán con facilidad delatando la deformación, se deben pegar sobre el material resistente nunca sobre el revestimiento. [11]

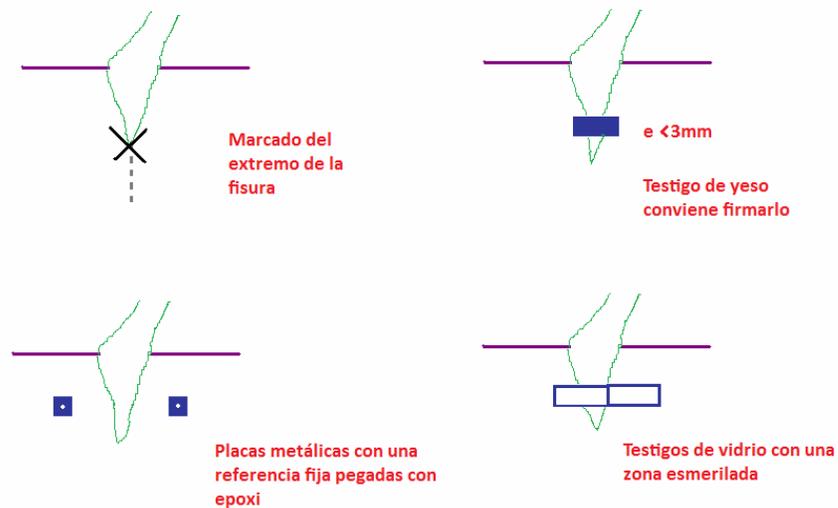


Figura 28. Control de fisuración. [9]

### 2.8.3. Evaluación de la calidad del concreto:

#### 2.8.3.1. Ensayos no destructivos:

Son métodos para evaluar un material sin afectar o alterar sus características de servicio. Existe una gran variedad de métodos, en este caso se hablara de los ensayos de esclerometría.

##### 2.8.3.1.1. Pruebas de esclerométrica:

Es un método en el cual se trata de hallar la resistencia del concreto a través de su dureza superficial, así como la uniformidad de una estructura. La realización de ensayos esclerométricos, para la determinación de la resistencia del concreto puede conducir a errores muy importantes sino se relacionan estos ensayos de dureza con la resistencia de las probetas

obtenidas de los mismos lugares de la estructura, como se muestra en la figura 29.

La dureza superficial del concreto se mide mediante la altura de rebote de una masa de acero que golpea, accionada por un muelle, sobre un pivote puesto en contacto con la superficie del concreto.

Producido el impacto, la masa rebota hacia el extremo opuesto del pivote arrastrando en su movimiento a un índice que al desplazarse sobre una escala graduada marca una magnitud que se denomina índice esclerométrico y que es la relación entre la altura del rebote y la escala total del aparato.



Figura 29. Estimación de la resistencia aproximada del concreto y su uniformidad, mediante el uso de un esclerómetro digital. [5]

#### **2.8.3.1.1.1. Condiciones para realizar el ensayo:**

1. Las superficies sobre las que se aplique el pivote del aparato deben ser planas y lisas.

2. Realizar los impactos sobre superficies que contengan la mayor proporción posible de mortero, evitando los puntos en que inmediatamente debajo de ellos existan áridos gruesos, armaduras o huecos.
3. El número de impactos a realizar por zona debe ser de diez a fin de conseguir una medida representativa.
4. No emplear el esclerómetro en concretos con resistencias menor a  $60\text{k/cm}^2$ .
5. No se debe aplicar el esclerómetro con concretos mojados.
6. No se debe usar en concretos muy viejos, debido a que la carbonatación superficial de los mismos desvirtúa los valores dando cifras superiores a la reales del núcleo. [11]

#### **2.8.3.2. Ensayos destructivos (Core-drill):**

Estos ensayos tienen la finalidad de determinar la calidad de una estructura o elemento de concreto que está en fase de ejecución, en servicio o fuera del producido un fallo en la misma. Para poder realizar el análisis de seguridad actual de la estructura es necesario conocer determinadas características de los materiales que lo componen, tales como: resistencia a la compresión, tracción, modulo de elasticidad y diagrama de tensión deformación. Esto se logra a través del ensayo de probetas testigos extraídas de los elementos estructurales de la estructura, dando resultados satisfactorios; este método es más confiable y seguro en el análisis patológico de un sistema de estudio. (Figura 30).

Para la extracción y ensayo de los núcleos se deben seguir las recomendaciones de la Norma COVENIN 345, "Método para la extracción de probetas cilíndricas de concreto endurecido". Como consideraciones importantes a tomar en cuenta, es preciso señalar que. (i) El número mínimo

de núcleos a extraer en cada zona a estudiar es de tres; (ii) se seleccione en esa zona la región que menos afecte la capacidad resistente, y; (iii) se evite cortar los aceros de refuerzo.

El diámetro de la broca y por consiguiente del núcleo depende del tamaño máximo del agregado empleado. Diámetros menores a 7,5cm arrojan resultados poco confiables y con grandes dispersiones. Las brocas más frecuentemente empleadas son las de 7,5cm y 10cm. Una vez extraído el núcleo del elemento estructural, es una excelente práctica rellenar el hueco con un mortero sin retracción o con material epóxico. [1]



Figura 30. Extracción de núcleo en columna. (Fundeso)

#### **2.8.3.2.1. Probetas testigos:**

Son piezas de forma cilíndrica, cúbicas o prismáticas que se extraen del concreto mediante cortes con sonda rotativa o con disco. También son

probetas testigo las extraídas del acero existente en las estructuras para la determinación de sus características. Los testigos extraídos deben ser representativos del lote de concreto considerado, por consiguiente es preciso definir las zonas o lotes de la estructura construidos con un determinado volumen de concreto considerado, por lo tanto es preciso definir las zonas o lotes de la estructura construidos con un determinado volumen de concreto y bajo las mismas condiciones.

Generalmente las probetas son cilíndricas, de 15cm de diámetro por 30cm de altura, si fueran cúbicas:  $R_{cub} = R_{cil} / 0.75$ .

En elementos verticales tipo pantallas, pilares, muros, etc. La altura a la que se realice la extracción tiene gran importancia en los valores obtenidos y así se pueden llegar a disminuciones del 20% en zonas altas en comparación con las zonas bajas.

La extracción de testigos no debe realizarse a edades inferiores a 14 días si el cemento es Portland normal, pudiendo rebajarse esta edad si el cemento es de alta resistencia inicial. Esta limitación se debe a que los concretos de baja resistencias, hay un mayor peligro de micro-fisuración, desprendimiento de áridos y pérdidas de adherencia con la pasta, lo que repercute en la resistencia a compresión. Si el diámetro de los testigos es pequeño, será grande el deterioro que pueda causar la sonda al realizar la extracción y por lo tanto, más bajo será el valor de resistencia obtenida.

Se tiene que tener en cuenta la relación altura-diámetro de los testigos. En probetas cilíndricas está normalizada la relación altura diámetro igual a dos. Existen casos en donde el espesor del elemento, impide obtener esta relación (no permite llegar a este valor, como en las losas). En estos casos

se estima una resistencia del concreto como si el ensayo se hubiese realizado con probetas de relación igual a dos.

La resistencia media de una serie de probetas es la medida de todos los resultados obtenidos.

Según la norma COVENIN 1976-99, para obtener la resistencia estimada del concreto, se toma el menor de los dos valores siguientes:

$$f'_c = \bar{X} / 0.85$$

$$f'_c = \text{menor valor obtenido} / 0.75$$

La resistencia estimada del concreto inferior a la característica que obligue el examen y la comprobación de dicha resistencia, el comportamiento inadecuado de la estructura en servicio, presentando deficiencias, fisuras o deformaciones funcionales superiores a la del proyecto original, obligando al conocimiento de las causas que producen dichas atracciones, el cambio de uso de la estructura que ocasione solicitaciones superiores sobre los elementos estructurales y que lleve el conocimiento de la capacidad resistente actual a fin de determinar si es preciso o no un refuerzo; son estas algunas razones por la cual se presenta la necesidad de extraer probetas cilíndricas. (Figura 31). [11]



Figura 31. Testigos de concreto. [11]

#### 2.8.3.2.1.1. Criterios de aceptación para núcleos

Para que los resultados de los núcleos sean aplicables se deben regir por la Norma COVENIN 345. La aceptación del concreto que se encuentra bajo evaluación, requiere que los resultados de los ensayos de los núcleos sean corregidos, por esbeltez y tamaño. Una vez corregidos deben satisfacer, simultáneamente, los dos requerimientos siguientes:

1. La resistencia promedio ( $F_N$ ) de los núcleos ensayados no debe ser inferior al 85% de la resistencia de cálculo ( $f'_c$ ). Lo anterior queda expresado por:

$$f_N \geq 0,85 f'_c \quad \text{Ec. 5}$$

2. Ninguno de los núcleos debe tener una resistencia por debajo del 75% de la resistencia de cálculo; o sea, para cualquiera de ellos:

$$f_{Ni} \geq 0,75 f'_c \quad \text{Ec. 6}$$

#### **2.7.3.2.1.2. Resistencia del concreto**

La resistencia del concreto colocado se considerará satisfactoria si se cumplen simultáneamente los siguientes requerimientos:

- Ningún ensayo individual (promedio de al menos dos cilindros normalizados) estará por debajo de  $F_c$  en más de:  $35\text{Kg/cm}^2$  cuando  $F_c \leq 350\text{ Kg/cm}^2$ ; de  $0,1 F_c$  cuando  $F_c > 350\text{Kg/cm}^2$ .
- El promedio de cualquier conjunto de tres ensayos consecutivos (cada uno promedio de al menos dos cilindros normalizados) debe ser igual o mayor que  $F_c$ .

#### **2.8.3.2.1.2. Sistema de curado**

Los procedimientos de protección y curado deberán mejorarse cuando el resultado del ensayo de los cilindros curados en obra, a la edad de ensayo, arrojen un valor inferior al 85% del correspondiente a muestras curadas en el laboratorio. Esta limitación no aplica si la resistencia del concreto curado en obra excede  $F_c$  en más de  $35\text{ Kg/cm}^2$ .

#### **2.8.3.2.2. Resistencias mecánicas del concreto:**

En una estructura el concreto se encuentra sometido a sollicitaciones muy variadas (corte, tracción, flexo-tracción, etc.). No es práctico llevar a cabo ensayos de control que analicen todos estos estados tensionales, por lo que se ha establecido la costumbre de realizar el ensayo destructivo a compresión simple sobre probetas e inferir, a partir de sus resultados los valores de otras características mecánicas tales como resistencia a la tracción, al corte, etc.

### 2.8.3.2.2.1. Ensayos a compresión:

La resistencia de un determinado concreto se determina al conocer el promedio de los valores de los resultados de ensayos validos, sobre un conjunto de probetas en una fecha determinada y siguiendo un procedimiento establecido. El mínimo acostumbrado suele ser tres, aunque bajo ciertas condiciones se aceptan hasta dos. La resistencia potencial del concreto se determina, entonces, siguiendo un proceso normalizado y su valor puede ser tomando como referencia de calidad para que el valor obtenido en el ensayo pueda ser tomado como referencia base, se deben haber cumplido meticulosamente todas las prescripciones normativas descritas en el procedimiento de la norma:

- **Tamaño de la probeta:** debe ser de dos (2) veces el valor del diámetro
- **Velocidad de carga:** los valores de ensayo son menores si la velocidad es más lenta y son mayores cuando la velocidad es mayor a la normalizada.
- **Aplicaciones de la carga:** carga axial, triaxial y uniaxial.
- **Colocación de remate:** los extremos de la probeta en la que se realiza la carga deben ser planos y perpendiculares a la probeta, esto se logra colocando capas de cierto grosor con una preparación en base a un compuesto de azufre y sílice. Esto para no causar concentraciones de refuerzo y no provocar una flexión producida por una posible excentricidad de la carga aplicada; se debe tener cuidado para lograr un centrado y alineado de la probeta y placa de apoyo en la máquina. (Figura 32). [1]

La ecuación utilizada para calcular la resistencia a la compresión en probetas ensayadas es:

$f_c = \frac{P}{A}$  en  $\text{kg/cm}^2$ , donde:  
P= carga máxima aplicada (Kg)  
A= área del cilindro ( $\text{cm}^2$ ).

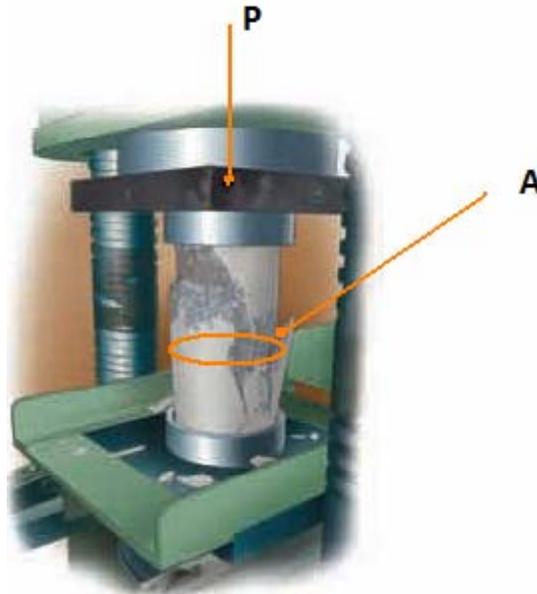


Figura 32. Ensayo de resistencia a la compresión de una probeta cilíndrica de Concreto. [28]

#### 2.8.3.2.2. Ensayo a tracción:

La fabricación de probetas cilíndricas destinadas a ensayos a tracción, se realiza de igual forma que en el caso de las probetas destinadas a los ensayos de compresión. Los tres tipos de ensayos utilizados son:

- la tracción directa sobre cilindros o prismas.
- La tracción por flexión.
- la tracción mediante el ensayo brasileño. (Figura 33).

Cuando hay que hacer la elección de un ensayo convencional de tracción, es recomendable usar el ensayo brasileño por razones económicas y porque se usan los mismos cilindros extraídos para el ensayo a compresión. Este ensayo consiste en romper el cilindro entre los dos platos de la prensa de compresión simple según dos generatrices opuestas. La resistencia a la tracción viene dada por la formula:

$$\sigma = \frac{(2 \cdot P)}{(\pi \cdot D \cdot L)} \quad \text{en kg/cm}^2, \quad \text{donde:} \quad \text{Ec. 7}$$

P= Carga de rotura (Kg)

D= Diámetro del cilindro (cm)

L= longitud del cilindro (cm)

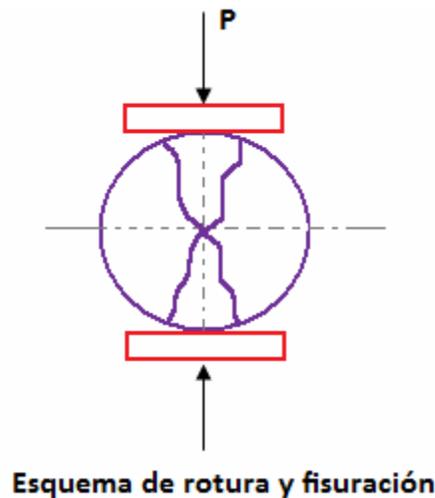


Figura 33. Máquina de ensayo de tracción. [29]

Cuando no se disponen de los mecanismos necesarios para realizar el ensayo, se estima la resistencia a la tracción alrededor del 10% de la resistencia a la compresión, ( $\sigma_t = 10\% \sigma_c$ ).

### 2.8.3.2.3. Diagrama tensión-deformación:

El objeto principal del estudio del comportamiento del concreto es la obtención de las relaciones acción-respuesta del material bajo la gama total de sollicitaciones a que pueda estar sujeto; estas características pueden describirse claramente mediante las curvas de esfuerzo-deformación de especímenes ensayados bajo distintas condiciones. El esfuerzo es una medida de la acción y la deformación es una medida de la respuesta. (Figura 34).

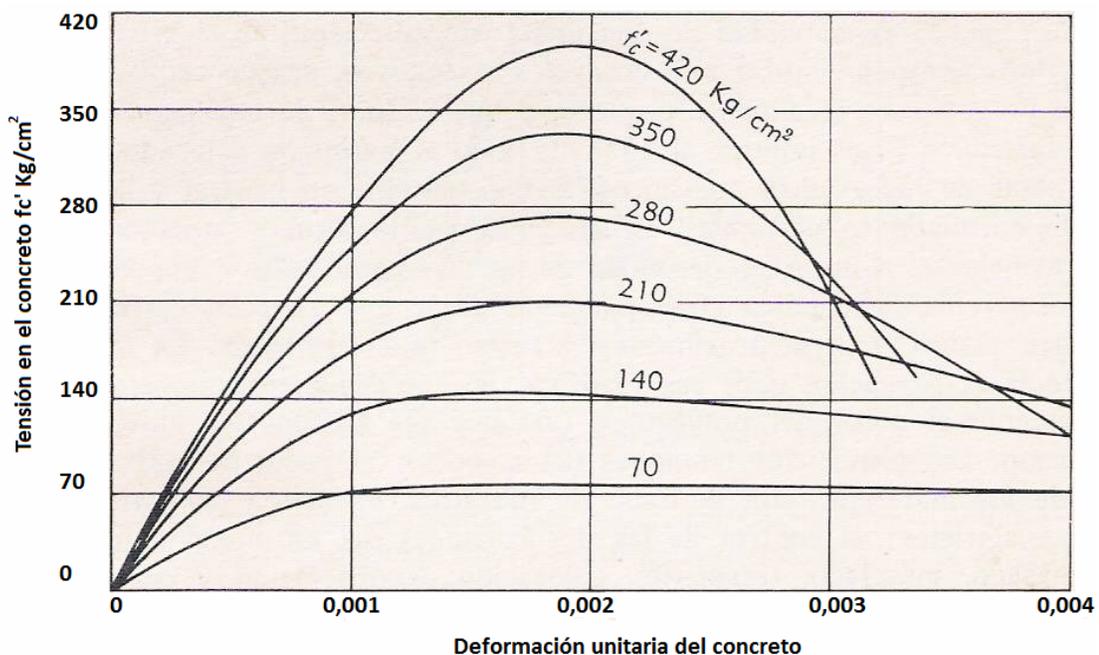


Figura 34. Curvas típicas de esfuerzo- deformación para diferentes concretos armados. [12]

### 2.8.3.2.4. Módulo de elasticidad:

El módulo de elasticidad del concreto no es constante, varía en primer término con los esfuerzos y también con su naturaleza, la cantidad de agua añadida, la edad del concreto y la forma de reparación.

Las correlaciones encontradas entre la resistencia a la compresión y el modulo de elasticidad son bastante confiables.

No obstante existen diversos factores que al influir de distinto modo sobre el modulo de elasticidad y la resistencia a compresión, enturbian la correlación.

Uno de los más importantes es la humedad de las probetas. Las probetas con contenido de humedad alto presentan módulos de elasticidad mayores, dado que el agua contribuye a la rigidez del material, en tanto que al actuar como una cuña interior disminuye la resistencia a la compresión.

La rigidez del agregado apenas afecta la resistencia del material, sin embargo varia de forma muy apreciable el modulo de elasticidad.

Sobre probetas el módulo de elasticidad en compresión se determina por medio de valores graficados para obtener la curva tensión-deformación. El módulo elástico es el valor de la pendiente en origen de dicha curva.

$$E_c = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon \quad E_c = (\text{kg/cm}^2, \text{Mpa}), \text{ Donde:} \quad \text{Ec. 8}$$

$\sigma$  =es el esfuerzo aplicado

$\varepsilon$  =la deformación unitaria producida.

La norma COVENIN 1753-03 establece para concretos de peso normal, la siguiente correlación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión.

$$E_c = 15100 \cdot \sqrt{f'_c}. [7] \quad \text{Ec. 9}$$

## 2.8.4. Monitoreo de permeabilidad

### 2.8.4.1. Permeabilidad hidrófuga

Esta prueba permite determinar la capacidad de penetración del agua en el interior de la masa del concreto. Para ello se utiliza una cámara de presión, como se indica en la figura 35. Esta cámara de 60 mm de diámetro se adhiere a la cara exterior del miembro, con pegas epoxi de secado rápido y se sujeta con dos tenazas que se fijan a la base con pernos, de modo de asegurar la estanqueidad. A continuación se abre la válvula de la tapa, se llena la cámara con agua destilada y se vuelve a cerrar la válvula manteniendo siempre la misma presión interna de hasta 6 BAR, la cual se mide con un manómetro micrométrico lateral, a medida que el agua va penetrando en el concreto.

Las lecturas en el manómetro en un determinado lapso de tiempo, permiten evaluar las características de permeabilidad al paso del agua de la superficie analizada. [6]

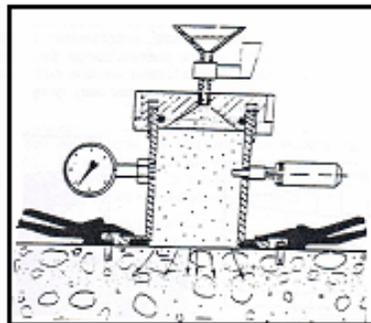


Figura 35. Prueba de permeabilidad hidrófuga. [6]

#### 2.8.4.2. Penetración de gas por porosidad.

Para realizar la prueba de permeabilidad al paso de un gas, se realiza el ensayo de porosidad, para el cual se instala un sensor de presión inclinado a  $45^\circ$  con relación a la superficie en estudio (ver figura 36). Para ello se obtiene una muestra de núcleo cilíndrico con un taladro de punta de diamante, con la inclinación indicada y hasta la profundidad deseada. Luego se retira el núcleo y en el hueco se inserta un sensor de longitud 20 a 25 mm. El sensor se expande y se debe verificar la estanquidad resultante antes de realizar el ensayo. Luego se coloca una cámara de aire de 60 mm de diámetro pegada a la cara de concreto con adhesivo epoxi rápido, conectada al sistema y asegurada a la base con dos tenazas empernadas.

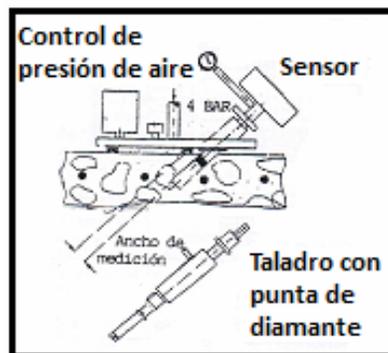


Figura 36. Prueba de penetración de gas. [6]

#### 2.8.5. Medición de espesores de recubrimientos y diámetros de barras.

El diámetro y ubicación de las barras de refuerzo del concreto armado pueden detectarse desde la cara exterior de los miembros, utilizando un instrumento magnético que induce el paso de la corriente de Foucault en el acero. Luego de dar un pulso, la corriente desaparece creando un campo

magnético débil, similar a un eco del primer pulso. La resistencia del campo inducido se va midiendo a medida que desaparece, y esta señal es procesada para determinar la profundidad de la medición. (Figura 37).

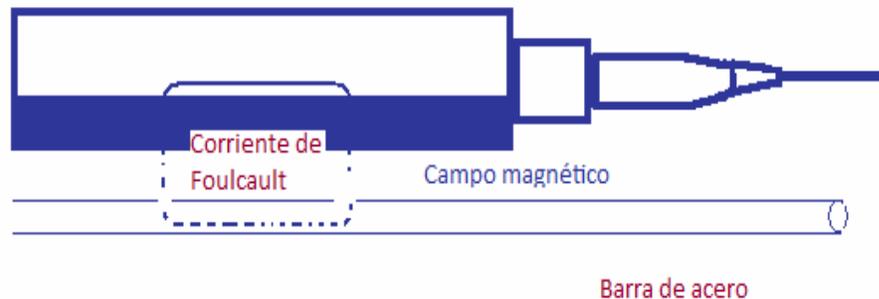


Figura 37. Medición de recubrimientos y diámetros de barras. [6]

El eco de la corriente de Foucault permite así determinar la profundidad y tamaño de las barras y su ubicación dentro de la masa del concreto. Con ello es posible conocer el espesor de los recubrimientos con un mínimo error de 2 mm en espesores de 70 mm y de 3 mm en espesores de 100 mm.

### 2.8.6. Monitoreo de la corrosión.

La corrosión de las barras de refuerzo del concreto armado no se produce cuando el fluido de los poros del concreto mantiene una condición de alta alcalinidad, con un pH de alrededor de 13, dando lugar a la formación de una delgada lamina protectora de oxido de hierro alrededor de las barras. Es el llamado “estado de pasividad” en corrosión, que se destruye cuando se

produce la carbonatación del concreto, o por la presencia de cloruros cuando hay suficiente humedad y oxígeno que favorecen la corrosión.

Durante este proceso se forman áreas anódicas y catódicas en el acero de refuerzo, causando la disolución del metal que es atacado por sustancias de expansión corrosiva en el ánodo. La magnitud de la corrosión que se produce depende de la facilidad con que los iones pasan a través del concreto, del cátodo al ánodo. Un elevado gradiente potencial asociado a una baja resistividad del concreto da lugar a un alto grado de corrosión.

Midiendo los potenciales y la resistencia eléctrica entre el refuerzo y la superficie, se puede evaluar la actividad corrosiva, así como el espesor de los recubrimientos y la condición de la masa de concreto. A mayor gradiente potencial, mayor riesgo de corrosión.

#### **2.8.6.1. Pruebas por resistencia eléctrica.**

El proceso electroquímico de corrosión del acero en el concreto, creando un efecto similar a una batería, produce una corriente eléctrica que se puede medir como un campo eléctrico en la superficie del concreto. Efectuando mediciones sobre toda el área, es posible así distinguir las zonas con y sin corrosión interna.

La figura 38 muestra una forma sencilla de realizar estas mediciones mediante la perforación de pequeños huecos en el concreto y luego introduciendo en ellos electrodos. Al pasar la corriente eléctrica se mide la resistencia eléctrica entre los dos electrodos o entre un electrodo y la barra de acero. De los resultados se deduce la resistividad o resistencia específica que se produce.

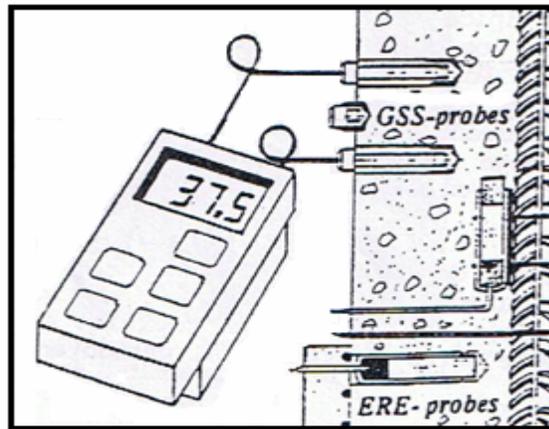


Figura 38. Prueba de resistencia eléctrica. [6]

La resistividad depende del contenido de humedad, de la porosidad, de la temperatura y del contenido de cloruro en los poros del concreto. Los tres primeros parámetros determinan las características de difusividad del concreto, en relación a la capacidad resistente del recubrimiento para el ataque del cloruro. Los cuatro parámetros considerados, conjuntamente con la relación ánodo-catódica de las barras y el contenido de oxígeno en el cátodo, controlan el proceso de corrosión.

Las mediciones también se pueden realizar automáticamente, con electrodos de ruedas para operar en cualquier posición, como muestra la figura 39. Cuando se desea obtener un monitoreo permanente, se dejan los electrodos ahogados en la masa de concreto y se van realizando mediciones periódicas del potencial eléctrico y la protección catódica existente.

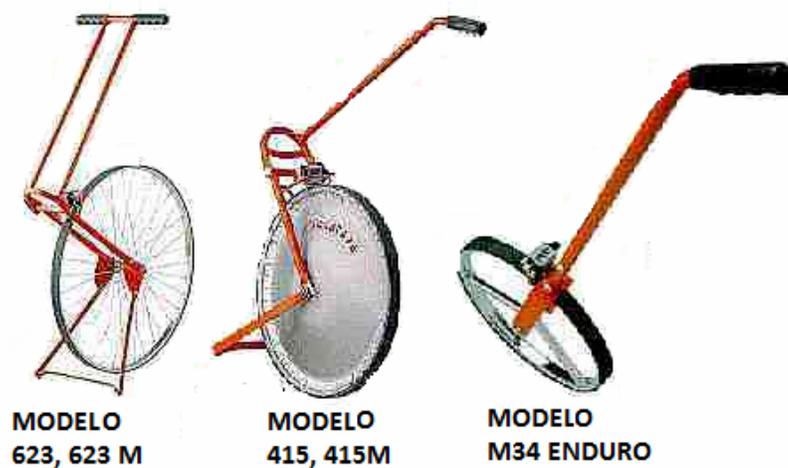


Figura 39. RUEDAS DE MEDICION: La manera fácil de medir las posiciones de los electrodos. [23]

Una de las posibles formas de evitar la corrosión en las barras de acero de las secciones de concreto armado, es aplicar en la superficie una capa protectora impermeable que impide la penetración del agua. Si este recubrimiento es suficientemente repelente al agua, el contenido de humedad en la masa del concreto se mantiene inalterado, y la corrosión no prospera en el acero. En algunos casos, la capa impermeable permite además la evaporación de agua de la masa cementicia hacia el ambiente exterior, lo cual disminuye el peligro de corrosión. También puede suceder que el agua se evapore por la cara opuesta del miembro. [6]

#### 2.8.6.2. Mapas de corrosión.

Los mapas de corrosión representan los resultados graficados según coloraciones, de los gradientes potenciales en el área que se investiga, al aplicar un grupo de sensores simultáneos que dan información en la pantalla

de un computador, conectados a voltímetros. También se puede graficar la resistencia eléctrica resultante, como en la figura 40.

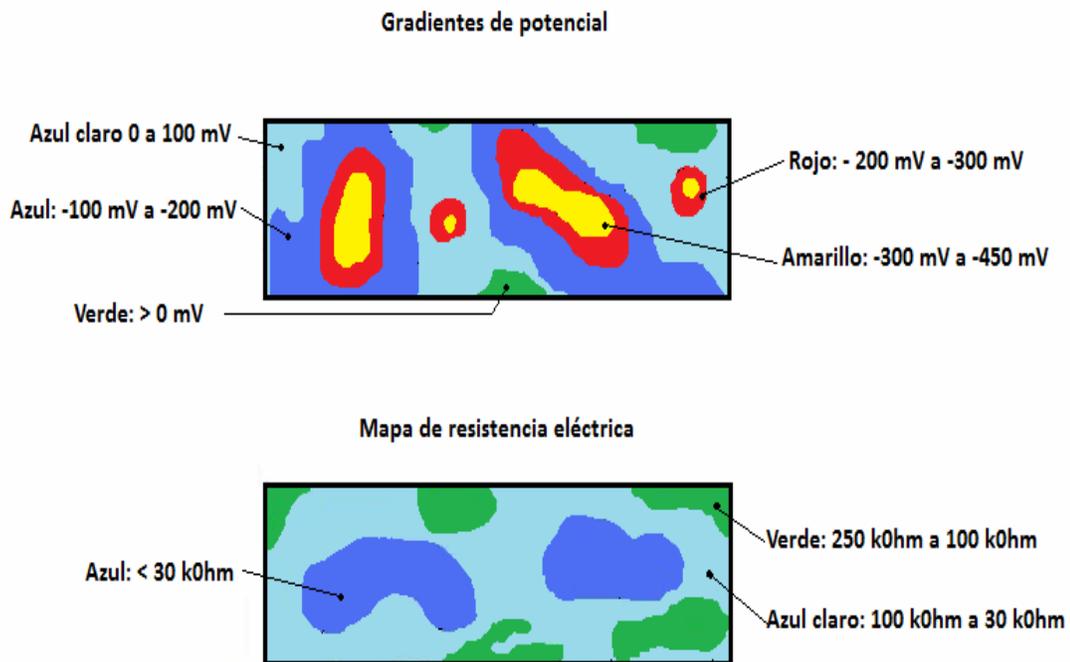


Figura 40. Mapas de corrosión. [6]

Es usual elaborar mapas de corrosión en estructuras marítimas y aquellas expuestas a la acción de un medio ambiente agresivo, como por ejemplo pilas de puentes, bases de fluctuaciones del nivel freático y plantas de tratamiento de aguas.

## **2.9. Detección de fallas internas y deformaciones.**

### **2.9.1. Monitoreo por eco-impacto.**

Los sistemas de monitoreo por eco-impacto se utilizan para detectar fallas internas en la masa de los miembros en estudio. Este método de reconocimiento se lo emplea especialmente para los siguientes fines:

- Comprobar la posibilidad de delaminación de los miembros.
- Detectar huecos, fisuras en la masa del concreto, aun cuando haya gran congestionamiento de barras cruzadas a su alrededor.
- Localizar desintegraciones causadas por corrosión incipiente.
- Medir la profundidad de las fisuras superficiales.
- Comparar la diferente porosidad entre dos capas de concreto.
- Determinar la calidad de los materiales en áreas dañadas que fueron reparadas.
- Comprobar la homogeneidad y ejecución de las inyecciones de lechadas en ductos de cables tensados.
- Verificar la integridad de las membranas protectoras bajo la capa asfáltica de rodamiento en puentes y caminos.
- Evaluar el incremento de resistencia en el concreto recién endurecido.
- Realizar mediciones de espesores de recubrimientos y diámetros de barras.

Los sistemas de eco-impacto se fundamentan en la producción de pulsos de esfuerzos de corta duración en base a impactos mecánicos aplicados en la superficie del concreto. (Figura 41).

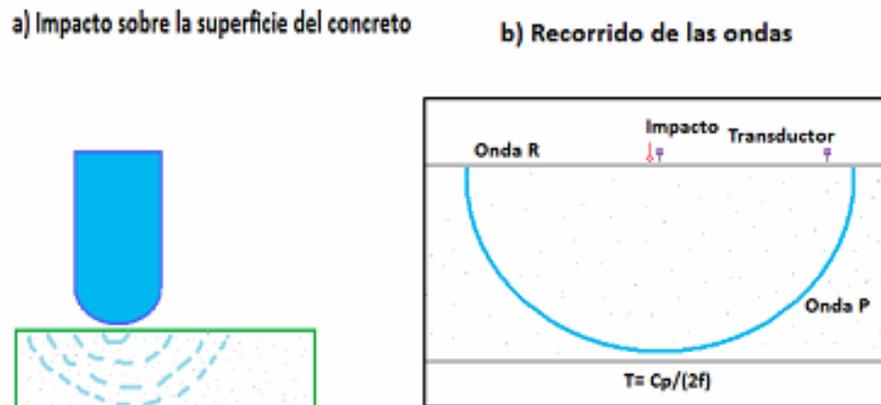


Figura 41. Impacto sobre la superficie del concreto y recorrido de onda. [6]

#### 2.9.1.1. Vibraciones de ultrasonido.

Las vibraciones de ultrasonido corresponde a un sistema de monitoreo para conocer la calidad de los materiales en estructuras de grandes masas, y su resistencia a la compresión. Consiste en medir la velocidad de propagación de un pulso o tren de pulsos de ondas originadas por una vibración sónica o ultrasónica que se transmite en una determinada distancia dentro del elemento analizado.

Para ello es necesario ubicar dos transductores, uno en cada extremo, en los puntos más alejados posible, de modo de poder realizar las mediciones entre bordes o a lo largo de una cara. Si lo que se mide es la amplitud del pulso emitido, se deben conocer las características de atenuación del concreto. (Figura 42).

Las frecuencias altas de pulso tienen mayor amortiguamiento que las bajas, y a mayor distancia, la forma de los pulsos cambia, volviéndose mas

redondeados. Para lograr una optima aplicación de este método, la superficie exterior del elemento de concreto debe ser lisa, ya que las rugosidades alteran los resultados. La velocidad de los pulsos varía en función de los siguientes factores:

- El contenido de humedad.
- Las proporciones de la pasta.
- La difusión en la colocación del refuerzo.
- La compactación lograda.
- La edad del concreto.

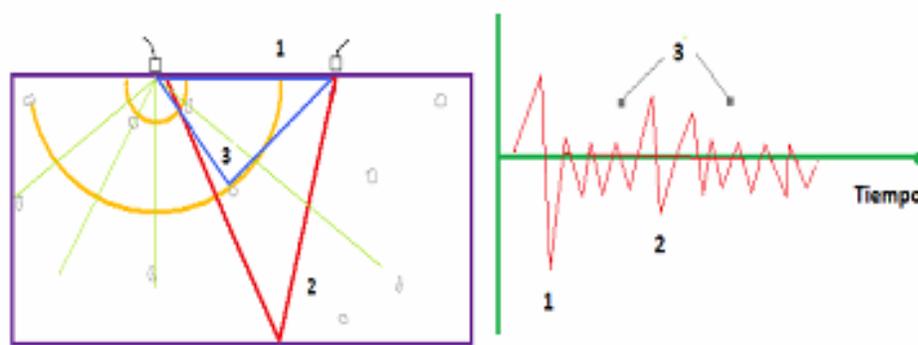


Figura 42. Propagación de ondas en un sólido heterogéneo. [6]

La velocidad del pulso de una vibración longitudinal de ultrasonido transmitiéndose en un sólido elástico se expresa:

$$V = \frac{E(1 - \nu)}{\rho(1 + \nu)(1 - 2\nu)}, \quad \text{donde:} \quad \text{Ec. 10}$$

E: módulo de elasticidad dinámico ( $\text{kg/cm}^2$ , Mpa)

$\rho$ : densidad ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\nu$ : coeficiente de Poisson (adimensional)

Además, la velocidad de los pulsos resulta:

Velocidad del pulso= distancia recorrida / tiempo transcurrido.

La figura 43 muestra la disposición de los transductores para obtener mediciones directas, indirectas y semi directas. La directa es la más satisfactoria, pues los pulsos longitudinales que emite el transductor se propagan principalmente en dirección normal a la cara donde se ubica el transductor. En la posición indirecta la onda ultrasónica de energía puede disiparse por las discontinuidades halladas en el camino y su exactitud disminuye en general de 1 a 2% con respecto a la medición directa.

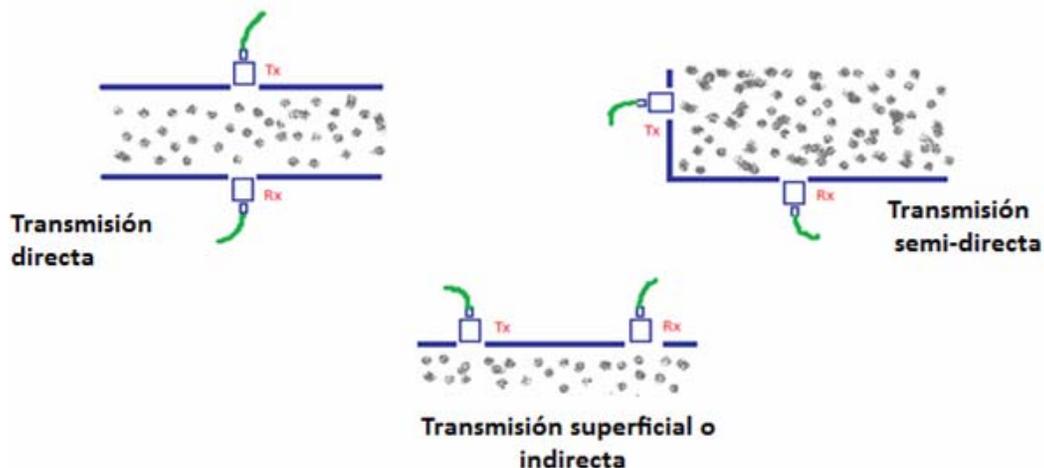


Figura 43. Formas de propagación de los pulsos ultrasónicos. [6]

### 2.9.1.2. Frecuencia de resonancia.

Este ensayo permite determinar las frecuencias fundamentales de resonancia en los modos longitudinal, transversal y torsional, y mide las constantes Q de amortiguamiento. Ello da por resultado el conocimiento de los módulos de elasticidad y rigidez, el coeficiente dinámico de Poisson, y la estimación de la variación de pulsos ultrasonidos, en las estructuras en estudio.

Se le utiliza en materiales tales como el concreto simple armado, el carbón, grafito o cerámica, pero los resultados son mejores en grandes áreas. (Figura 44).

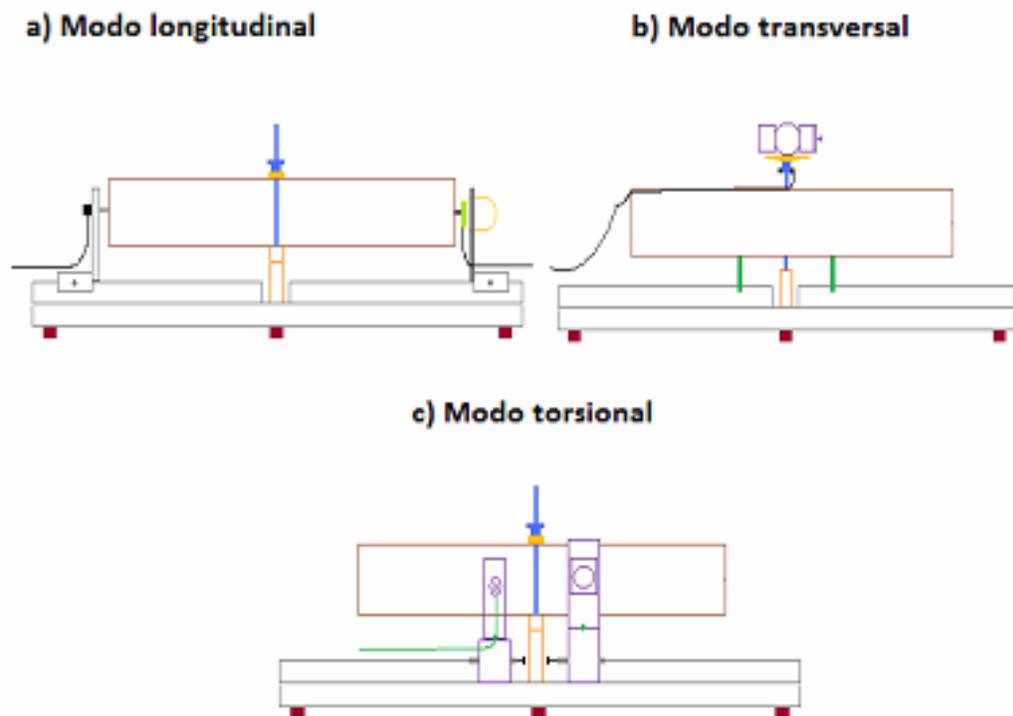


Figura 44. Distintos modos de resonancia. [6]

### 2.9.1.3. Tomografía sónica.

Este método combina la tomografía computada de información sónica con técnicas de visualización científica. La información sónica consiste en la recopilación de datos de las ondas acústicas propagadas en un sólido mediante un impacto de martillo, pistola de aire o explosivos aplicados en la superficie del elemento analizado.

El impacto es recibido por un sensor eléctrico, un acelerómetro, un geófono o un hidrófono que se ubica de tal manera que las ondas puedan cubrir la superficie entre ambos, uniformemente, en un número elevado de direcciones. De esta forma se pueden monitorear una gran cantidad de datos que describan con exactitud las condiciones internas del material. El área en estudio se debe dividir en un número de secciones ( $S_i$ ) menor al de los tiempos de propagación recibidos ( $N$ ):

$$S_i < N$$

De los tiempos de propagación se obtiene:  $G_m = T$ , donde: Ec. 11

$T =$  es un vector en el cual cada componente ( $t_i$ ) representa el tiempo de propagación de las ondas ( $i_n$ ).

$$1 < i_n < N$$

$m$  es un vector que describe la velocidad de propagación del medio y  $G$  es una matriz  $P \times N$  donde cada término  $g_{ij}$  corresponde a la distancia recorrida por la onda  $i_n$  en cada sección considerada. El método se puede aplicar en todo tipo de estructuras. [6]

#### **2.9.1.4. Termografía infrarroja**

Es un método muy usado para determinar la delaminación del concreto, basándose en el principio de que la misma produce exfoliaciones con penetración de aire entre las capas del material deteriorado. El aire atrapado actúa como un aislante que impide el flujo de calor hacia el interior o el exterior del miembro. Ello afecta la temperatura superficial y crea zona de concentración de calor dependiendo de la dirección del flujo térmico.

Para detectar este tipo de daño estructural se coloca la cámara de rayos infrarrojos que mide las variaciones de temperatura en la superficie del concreto. En puentes de grandes luces se han implementado sistemas de transporte deslizante de las cámaras de rayos infrarrojos de modo de poder realizar un rápido monitoreo de toda la estructura. Sin embargo, aplicando esta prueba, los resultados obtenidos son susceptibles de variaciones por las condiciones climáticas adversas.

También la interpretación de los resultados puede complicarse por los cambios sufridos en la superficie de los miembros, tal como la emisividad, que se interpreta a veces como variación de temperatura.

#### **2.9.1.5. Difracción de rayos x.**

El monitoreo mediante rayos x permite medir deformaciones, a través de las cuales se pueden calcular esfuerzos. Este método utiliza la estructura cristalina del material para analizarlo en una red interatómica, mediante aplicaciones de sensores o strain gages “imaginarios”.

Como resultado, estos miles de strain gages contenidos dentro de los cristales de la masa, permiten medir las deformaciones aplicando el método de difracción de rayos x, en los espacios “d”, que corresponden a las distancias entre planos de átomos en función de las características del material, y el estado de esfuerzos, mediante la ecuación de Bragg:

$$d = n \lambda / 2 \sin \theta, \text{ donde:} \quad \text{Ec. 12}$$

n= número entero de longitudes de onda

$\theta$ = ángulo de difracción de un rayo x

$\lambda$ = longitud de onda

d =espacio característicos del material.

#### **2.9.1.6. Rayos laser y sensores ópticos**

Esta técnica de no contacto permite monitorear estructuras en gran escala, para medir deformaciones y desplazamientos a largo plazo utilizando un rayo laser y un sensor óptico sensible a los desplazamientos. El problema principal consiste en ubicar cada vez con exactitud el dispositivo de lanzamiento del rayo en la dirección del sensor óptico.

El sensor puede medir el movimiento focal del laser con una exactitud de 0,05 mm en las direcciones x e y. combinando dos de estos sensores se puede detectar el movimiento de un punto en las tres direcciones ortogonales espaciales de referencia en forma estática o dinámica. Durante el periodo de medición, que puede ser de un año o de varios años, el dispositivo debe reorientarse hacia direcciones fijas cada vez que sea necesario, y si el aparato se mantiene a la intemperie, se deben tomar especiales medidas de protección y sustituirlo por otro en un lapso de tiempo no muy prolongado,

pues pueden dañarse alterando la exactitud de las mediciones. Para reacondicionar el nuevo aparato se utiliza un teodolito.

Los resultados obtenidos en las mediciones estáticas y dinámicas se muestran en la figura 45. El método es especialmente indicado para medir las deflexiones máximas en puentes con tráfico pesado de camiones, y monitorear estructuras masivas como las presas.

En general, las mediciones van acompañadas con sensores para verificar los cambios de temperatura y variaciones volumétricas por creep y retracción higrométrica. [6]

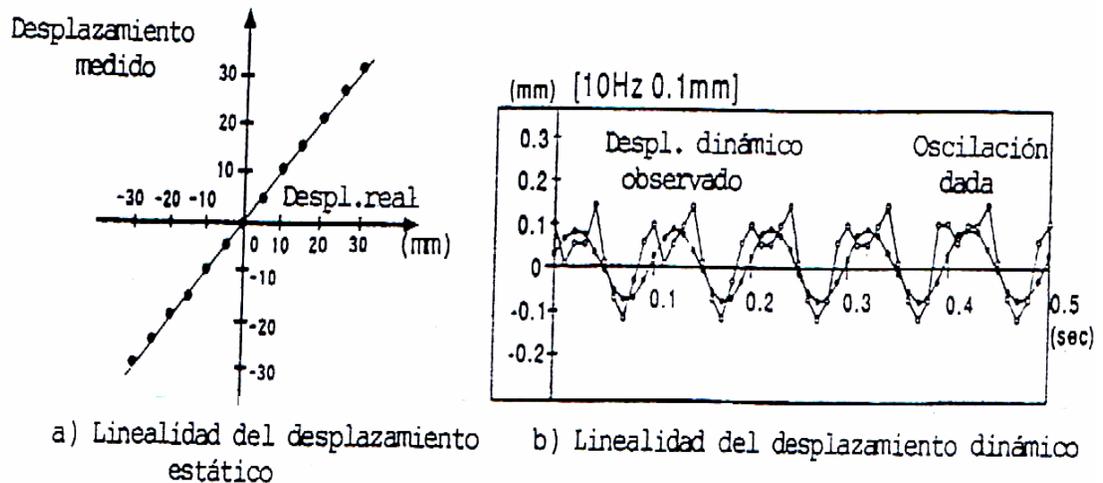


Figura 45. Mediciones estáticas y dinámicas. [6]

### 2.9.1.7. Impulsos por radar

La técnica de monitoreo mediante impulsos por radar permite detectar en forma no destructiva, la presencia de áreas con huecos internos en la

masa del concreto, y otras imperfecciones y anomalías no visibles desde el exterior.

Para ello se debe realizar sobre la superficie a estudiar, una antena de radio transductora, a baja velocidad, que emite impulsos de energía que penetran la masa cementicia y se reflejan en cada defecto, discontinuidad o cambio estructural, dependiendo de su capacidad de conductividad. Las señales de retorno que son recibidas a medida que el transductor se va moviendo, grafican el perfil transversal del interior del material, en forma continua. Lo que en realidad se transmite es un plano de energía y no un rayo aislado. Este plano es paralelo a la dirección en que se realiza la prueba. [6]

### **2.9.2. Monitoreo de frecuencias**

En las estructuras que deben soportar severas condiciones de carga, como por ejemplo los puentes con tráfico pesado, sujetos a fatiga, o con condiciones ambientales deteriorantes, heladas y deshielos sucesivos, etc., se hace imperioso realizar un monitoreo continuo de las características mecánicas y resistentes, así como de la variación de las frecuencias naturales que van sufriendo los sistemas, debidas a las causas enumeradas.

La experiencia ha demostrado las ventajas de realizar monitoreos a distancia en el caso de puentes sujetos a cargas móviles, ya que los deterioros producidos pueden detectarse en función de las frecuencias obtenidas y los correspondientes modos de vibración.

Además. Esta información puede correlacionarse con un análisis paralelo mediante elementos finitos. Por ejemplo, un puente donde ha

aparecido una fisura importante en la placa del tablero, evidencia la presencia de frecuencias adicionales de vibración, así como cambios en las iniciales. También se producen variaciones en los niveles de la aceleración.

Los esquemas a) y b) de figura 46 indican las formas de los primeros modos de vibración flexional y torsional obtenidos, las cuales sufren mediciones a medida que varían las condiciones físicas y mecánicas de la estructuras.

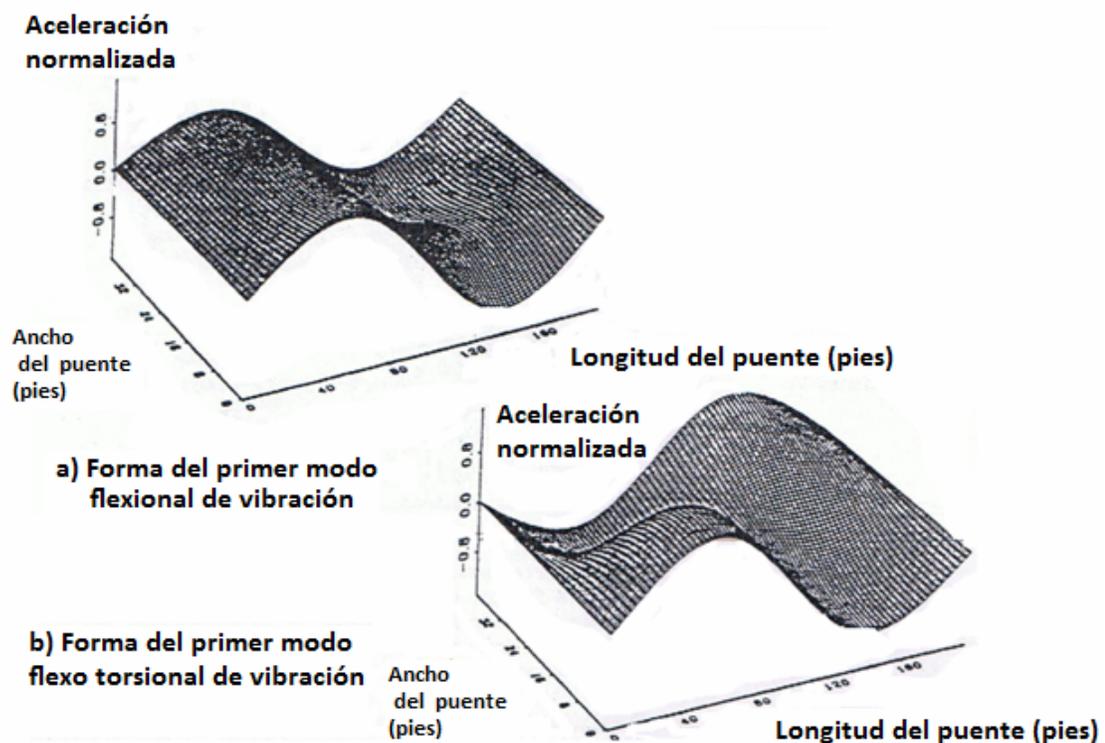


Figura 46. Modos de vibración flexional torsional. [6]

## 2.10 Esquema resumen de los lineamientos a seguir para obtener una buena inspección. [6]

<b>Observación ocular</b>	
<u>Monitoreo de fisuración</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fisuración superficial</li> <li>• Profundidad de fisuración</li> </ul>
<u>Determinación de las características químicas</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbonatación</li> <li>• Alcalinidad</li> <li>• Contenido de cloruro</li> </ul>
<u>Monitoreo de permeabilidad</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrófuga</li> <li>• Penetración de gas</li> </ul>
<u>Medición de espesores de recubrimientos y diámetros y diámetros de barras.</u>	
<u>Monitoreo de corrosión</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por resistencia eléctrica</li> <li>• Mapas de corrosión</li> </ul>
<u>Determinación de las características mecánicas del concreto</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esclerómetro o martillo suizo</li> <li>• Prueba de endurecimiento</li> <li>• Prueba de penetración</li> <li>• Resistencia a la compresión</li> </ul>
Resistencia a tracción y adherencia	
<u>Detección de fallas internas y deformaciones.</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de ecoimpacto</li> <li>• Vibraciones de ultrasonido</li> <li>• Frecuencia de resonancia</li> <li>• Tomografía sónica</li> <li>• Termografía infrarroja</li> <li>• Difracción de rayos x</li> <li>• Rayos laser y sensores ópticos</li> <li>• Impulsos por radar</li> </ul>
<u>Monitoreo de frecuencias</u>	
<u>Ensayos no destructivos y destructivos</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensayos estáticos</li> <li>• Ensayos dinámicos</li> </ul>

### **2.10.1. Vida útil de estructuras de concreto armado:**

La integridad de una estructura de concreto armado depende tanto de la calidad de sus componentes como de su dosificación, para lograrlas mejores propiedades que garanticen un período de vida útil prolongado. El concreto protege al acero, esta protección es en dos sentidos, por un lado el concreto constituye una barrera física que separa al acero del medio circundante y el otro es de carácter químico por el valor de pH alcalino, que se alcanza cuando han tenido lugar las reacciones de hidratación del cemento, que pasivan al refuerzo protegiéndolo químicamente con respecto a la corrosión.

Cuando los agentes agresivos no están presentes desde la elaboración del concreto, éstos penetran a través de él, cuando la estructura es puesta en servicio. Al llegar a la superficie del metal, provocan que la corrosión se desencadene. Una vez que la corrosión se ha desencadenado, ésta se manifestará bajo tres vertientes:

1. Sobre el acero, con una disminución de su diámetro inicial y por lo tanto de su capacidad mecánica.
2. Sobre el concreto, debido a que al generarse acumulación de óxidos expansivos en la interfase acero-concreto, provoca fisuras y desprendimientos.
3. Sobre la adherencia acero/concreto.

Desde el punto de vista de la corrosión del acero en el concreto, Tutti –  
["Corrosion of steel in concrete. Swedish Cement and Concrete Research

Institute". N° F04, Stockholm, Suecia, 469 pp. (1982)] definió un modelo muy sencillo que representa el tiempo que tarda una estructura de concreto proporcionando servicios para los cuales ha sido diseñada. Este modelo se divide en dos periodos:

- Periodo de iniciación: Tiempo en que tarda el agente agresivo en atravesar el recubrimiento, alcanzar el acero y provocar el rompimiento de la capa de óxido protector.
- Periodo de propagación: Comprende la acumulación progresiva del deterioro, hasta que alcanza un nivel inaceptable. (Figura 47).

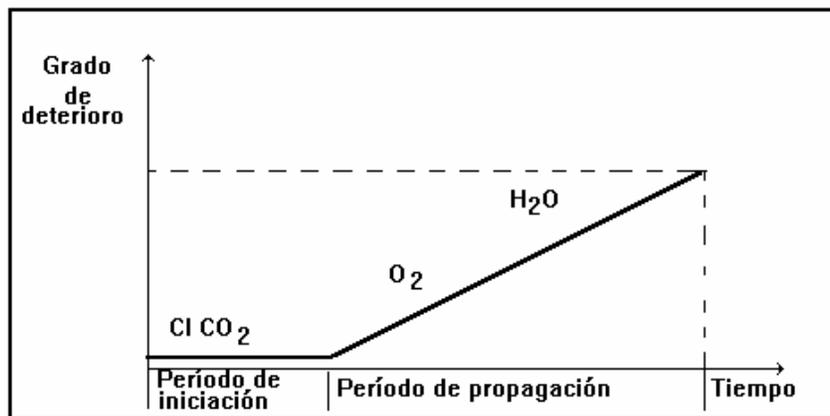


Figura 47. Tiempo de vida útil de una estructura. [8]

Durante el periodo de iniciación los agentes agresivos llegan a la superficie del metal e inician el proceso de corrosión. Los agentes más comunes son los iones cloruro y la neutralización de la pasta de concreto conocida como carbonatación.

### **2.10.2. Aumento de la vida útil de estructuras de concreto armado corroídas, mediante realcalinización.**

Factores tales como, espesor del concreto adecuado a las condiciones del medio ambiente, baja porosidad del concreto, buena adherencia acero-concreto, mínima fisuración y la posibilidad de repasivación del acero, contribuyen a aumentarla durabilidad de las estructuras de concreto armado.

Si bien existen varias causas, que pueden dar lugar a la destrucción de la capa pasivante del acero, en la práctica los factores que promueven la corrosión electroquímica de las armaduras en el interior del concreto son mayoritariamente la carbonatación y la presencia de cloruros, o ambos en conjunto, ayudados por el fisuramiento y/o la porosidad del concreto y la saturación o no de los poros que permiten el paso del  $O_2$ ,  $CO_2$  y  $Cl^-$  hasta la armadura; humedad y la presencia de diversos agresores del medio.

Una vez que la corrosión se ha desencadenado, sus daños se manifiestan en general bajo tres vertientes: sobre el acero, con una disminución de su diámetro inicial y por lo tanto de su capacidad mecánica; sobre el concreto, debido a que al generarse acumulación de óxidos expansivos en la interfase acero-concreto, provoca fisuras y desprendimientos y sobre la adherencia acero- concreto.

Para mejorar la vida útil de las estructuras se hace necesario proteger las armaduras; para ello existen técnicas tales como protección catódica, recubrimientos epóxico, otros; la protección catódica debe ser cuidadosamente estudiada y aplicada, porque al acero se le cambia la polaridad y esto puede inducir zonas anódicas en las partes contiguas produciendo corrosión en zonas pasivadas; el recubrimiento epóxico protege

por barrera, los resultados no son muy alentadores ya que se han encontrado estructuras, donde este método ha sido aplicado, que muestran corrosión severa de la armadura, con el agravante que el uso de cualquier otro sistema de protección no es efectivo, si a la armadura no se le elimina el recubrimiento.

La realcalinización, es una técnica no convencional que brinda una protección indirecta a través del concreto. Con esta técnica se lograría incrementar el pH de la solución acuosa de los poros del concreto, producido por la incorporación de un electrolito alcalino desde la superficie del concreto. Este proceso repasa la armadura debido a las reacciones electroquímicas que tienen lugar en ella, otorgándole la alcalinidad suficiente para que el proceso de corrosión se detenga.

El procedimiento es adecuado para reparar estructuras dañadas por un proceso de corrosión, originado por carbonatación, consiguiendo prolongar la vida útil de construcciones civiles afectadas. Además con la aplicación de la técnica se podría paliar en gran medida, el problema de corrosión en las construcciones. [2]

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA Y EVALUACIÓN DE DAÑOS**

#### **3.1 Metodología de evaluación**

Para conocer la magnitud y origen de los daños que se pueden producir en una estructura, es necesario la aplicación de diversos métodos de evaluación, que van a depender de las características del edificio en estudio, los cuales implican la realización de numerosos procedimientos que permiten determinar el deterioro que reduce la capacidad resistente de dicho edificio.

Para este caso la evaluación se basó principalmente en:

##### **3.1.1. Recopilación y revisión del proyecto original.**

Para dar comienzo a este estudio se revisó en detalle los planos estructurales, arquitectónicos y uso de la edificación. Información importante que representó el punto de partida para la investigación. Cabe resaltar que la calidad de los materiales y normas de diseño utilizadas no se pudieron revisar, debido a que lo obtenido del proyecto original por distintos medios, solo fue los planos antes mencionados.

##### **3.1.2. Inspección ocular.**

Consistió en hacer una inspección mediante varias visitas realizadas al edificio para constatar que la información suministrada correspondía con la estructura, en cuanto, al dimensionado de sus elementos, disposición y

diámetro del acero de refuerzo y armado de las losas, todo esto se realizó con el fin de establecer un levantamiento real de lo construido, además se elaboró un registro detallado de los daños en la estructura, clasificándolos según su magnitud, señalando a su vez su ubicación en todo el contexto de la obra.

Para sustentar las visitas hechas al edificio y certificar el trabajo de campo realizado, se tomaron fotografías.

### **3.1.3. Levantamiento físico.**

Consistió en establecer el dimensionado y la disposición real de los elementos estructurales y no estructurales.

### **3.1.4. Descripción y levantamiento de daños (sintomatologías).**

A través de los conocimientos obtenidos de sintomatología que pueden presentar las edificaciones ante una situación determinada y sabiendo el efecto al que fue sometido el edificio, se pudieron determinar los tipos de daños, que fueron básicamente corrosión tanto del acero como del concreto y desprendimiento del material los cuales, permitieron establecer los métodos de evaluación para determinar la causa de los daños.

### **3.1.5. Actividades de campo.**

Comprendió una serie de pruebas y ensayos que permitieron tener información con respecto a:

1. Evaluación de la calidad del concreto colocado en la edificación mediante ensayos no destructivos (esclerométricos).
2. Evaluación de la calidad del concreto colocado en la edificación mediante ensayos destructivos (Core-drill).
3. Evaluación de la calidad del concreto colocado por la aplicación de prueba de carbonatación del concreto por fenolftaleína.

#### **3.1.6. Actividades de oficina.**

1. Revisión analítica de la estructura con los datos reales obtenidos mediante la investigación, teniendo como referencia las normas COVENIN vigentes: 1753-03, 2002-88, 1756-01, 1468-79, 345-80, 1976-03, 338-02, 1609-80, 316-02.
2. Revisión y análisis de los resultados de las pruebas y ensayos.

#### **3.1.7. Diagnóstico de las causas.**

Fue una de las etapas más importantes de la investigación, debido a que se realizó un descarte entre todos los factores evaluados para determinar cuál fue la causa que originó desprendimiento de material y corrosión de los elementos estructurales en la edificación.

#### **3.1.8. Conclusiones y recomendaciones.**

De acuerdo al diagnóstico establecido, se procedió a estudiar la estimación de la necesidad de reparar o rehabilitar el edificio y a partir de esto recomendar ciertos métodos de prevención y corrección de los daños a partir de un manual preventivo de corrosión y vida útil.

### **3.2. Recopilación y revisión del proyecto original.**

Con la finalidad de encontrar las causas y efectos que originaron los daños estructurales en las estructuras de concreto armado, fue necesaria la búsqueda de un edificio que presentara problemas en sus elementos estructurales.

El edificio elegido lleva por nombre “FUNDESO” (Fundación para el desarrollo del municipio sotillo), ubicado en la ciudad de Puerto La Cruz, donde, revisar su historia, analizar los planos originales, el saber el uso que se le ha dado a la estructura etc., es fundamental para arrojar una idea clara y precisa de cómo fue concebida estructuralmente la misma.

#### **3.2.2. Descripción de la estructura.**

##### **3.2.2.1. Ubicación.**

El edificio FUNDESO se encuentra ubicado en el centro de la ciudad de Puerto La Cruz, entre la Avenida 5 de julio y las calles Anzoátegui y Libertad, Municipio Sotillo, del Estado Anzoátegui, Venezuela.

##### **3.2.2.2. Descripción.**

El proyecto original presentaba una edificación de concreto armado de 13 niveles con pórticos en ambas direcciones, mas dos (2) plantas para biblioteca y usos múltiples, comercio, además consta de diez (10) pisos o niveles para oficinas. Otro edificio pequeño, de cuatro (4) plantas, también para oficinas, adosado al primero, con entrada independiente. También consta de un auditorio o sala de teatro, con todas sus áreas adyacentes de

servicios. Conformada básicamente por columnas y vigas de sección rectangular, losas armadas en una dirección, siete módulos de escaleras, dos de ascensor y una sala de maquinas.

### **3.2.3. Revisión del proyecto original.**

#### **3.2.3.1. Revisión de los planos (ver Apéndice A)**

##### **3.2.3.2.1. Plano techo - ubicación**

**Plano:** A-1

##### **3.2.3.2.2. Fundaciones: la estructura se proyectó sobre pilotes.**

Resistencia de compresión:  $f'c=210\text{kg/cm}^2$

**Planos:**

1. E-1 Fundaciones
2. E-5 Riostras
3. E-6 Riostras

##### **3.2.3.2.3. Plano de semisótano**

**Plano:** A-2

##### **3.2.3.2.4. Plano nivel acceso**

**Plano:** A-3

##### **3.2.3.2.5. Plano nivel biblioteca**

**Plano:** A-4

##### **3.2.3.2.6. Plano nivel teatro**

**Plano: A-5**

### **3.2.3.2.7. Plano nivel oficina- sala de proyección**

**Plano: A-6**

### **3.2.3.2.8. Plano pent-house- techo**

**Plano: A-7**

### **3.2.3.2.9. Columnas**

#### **Características**

Resistencia a compresión:  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Recubrimiento=2.5cm

#### **Planos**

1. E-3 columnas
2. E-4 columnas

### **3.2.3.2.10. Vigas**

#### **Características**

Resistencia a compresión:  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Recubrimiento=2.5

#### **Planos**

1. E-7 envigado nivel 1
2. E-8 envigado nivel 2
3. E-9 envigado nivel 3
4. E-10 envigado nivel 4
5. E-11 envigado nivel 5 al 13

### **3.2.3.2.11. Losas: la estructura está conformada por losas nervadas en una sola dirección.**

#### **Características**

Resistencia de compresión:  $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$

Espesor=18cm

#### **Planos**

1. E-43 losas

## **3.3 Evaluación de los daños**

### **3.3.1 Levantamiento físico**

Actualmente el edificio FUNDESO es una estructura de concreto armado sobre pilotes de 13 niveles, construido por un cuerpo central, con un semisótano para estacionamiento, más de dos (2) plantas para biblioteca y usos múltiples, comercio, además consta de diez (10) pisos o niveles para oficinas. Otro edificio pequeño, de cuatro (4) plantas, también para oficinas, adosado al primero, con entrada independiente. También consta de un auditorio o sala de teatro, con todas sus áreas adyacentes de servicio.

El edificio presenta trabajo de albañilería casi completo desde el semisótano hasta el nivel teatro, todos los demás niveles presentan trabajos de albañilería completa. Las secciones de los elementos estructurales se mantienen constantes en los distintos niveles. El edificio adosado de 4 pisos está terminado en su totalidad. El nivel teatro solo tiene construida la base del piso.

### **3.3.1.1. Infraestructura**

En el área destinada para la estructura se instalaron pilotes de 8 a 9 metros con sus respectivos cabezales y vigas de riostras, con muros de 1,40 metros de altura que conforman el semisótano. El cual está constituido por elementos estructurales rectangulares (vigas, Columnas, losas y escaleras en acabado de obra limpia. (Ver plano E-1 y E-6).

### **3.3.1.2. Superestructura**

La superestructura está conformada por elementos rectangulares (vigas, columnas, losas y escaleras en acabado de obra limpia), todas construidas con las mismas dimensiones del proyecto original al igual que la distribución de los aceros. Ver apéndice B.

## **3.3.2 .Descripción y levantamiento de daños**

### **3.3.2.1. Descripción de daños**

Los daños más severos se encuentran en el semisótano, entre estos están:

#### **3.3.2.1.1 Daños en columnas**

- Desprendimiento del concreto en la parte inferior de las columnas. (Foto 1)
- Corrosión del acero en la parte inferior de las columnas. (Fotos 2, 3, 4, 5).

- Carbonatación y eflorescencia .( Fotos 2, 4, 5)



Foto 1. Columnas del semisótano.



Foto 2. Columna planta baja



Foto 3. Semisótano



Foto 4. Carbonatación

Foto 5. Eflorescencia

### 3.3.2.1.2 Daños en vigas

- Carbonatación y eflorescencia. (Fotos 6 y 7).



Foto 6. Viga semisótano

Foto 7. Daño en viga de semisótano

### 3.3.2.1.3 Daños en losas

Desprendimiento del material, corrosión del acero y carbonatación.  
(Foto 8).



Foto 8. Daño en losa de semisótano

### 3.3.2.1.4 Daños en escaleras

Desprendimiento del material en los peldaños y corrosión del acero.  
(Fotos 9 y 10).



Foto 9. Escalera planta baja

Foto 10. Escalón

En los niveles planta baja hasta el nivel 2 se observaron desprendimientos de material en la parte inferior de las columnas con corrosión del acero, las vigas no presentaron daños y en algunos puntos de las losas se presentan desprendimiento de material y corrosión del acero. (Fotos 11, 12, 13, 14)



Foto 11. Planta baja

Foto 12. Columna de teatro



Foto 13. Losa planta baja



Foto 14. Oficinas

En cuanto a los elementos no estructurales hubo desprendimiento de friso en los primeros 3 niveles y sótano. (Fotos 15,16 y 17).



Foto 15. Pared teatro



Foto 16. Pared oficina



Foto 17. Desprendimiento de friso en teatro.

En los niveles 4 al 13 no se presentaron daños de ningún tipo.

### **3.3.2.2 Levantamiento de daños**

Una vez establecido los daños presentes en los elementos estructurales, el conocer la evolución de los mismos constituye uno de los aspectos más importantes de la sintomatología para tener presente la seguridad y servicio de la estructura. Para ello se ubico específicamente en que parte de las columnas, losas, vigas y escaleras se presentan. Tomando en cuenta en cuantas caras está el deterioro y que longitudes que presentan los mismos. (Apéndice C).

### **3.3.2.2.1. Cuadro clínico de los daños en los elementos estructurales**

#### **3.3.2.2.1.1 Clasificación de los daños en columnas (Tabla 7).**

##### **Clasificación A. Daños muy graves**

Representan aquellos elementos que tienen desprendimiento de material de longitud de 40 a 50 cm y corrosión del acero alrededor de la sección en la parte inferior.

##### **Clasificación B. Daños graves**

En esta clasificación entran aquellos elementos que tienen dos tipos de daños.

**B.1** Aquellos elementos que tienen desprendimiento de material de longitud de 30 a 40 cm y corrosión del acero alrededor de la sección en la parte inferior.

**B.2** Aquellos elementos que tienen desprendimiento de material de longitud de 30 a 10 cm y corrosión del acero alrededor de la sección en la parte inferior.

##### **Clasificación C. Daños moderados**

Representan aquellos elementos que tienen 3 tipos de daños:

**C.1** Aquellos con desprendimiento de material en 3 caras y corrosión del acero.

**C.2** Los que tienen desprendimiento de material en 2 caras y corrosión del acero.

**C.3** Los que tienen desprendimiento de material en 1 cara y corrosión del acero.

#### **Clasificación D. Daños leves**

En esta clasificación entran aquellos elementos que presentan 4 tipos de daños:

**D.1** Aquellos con desprendimiento de material alrededor de toda su sección en la parte inferior y sin corrosión del acero.

**D.2** Aquellos con desprendimiento de material en 3 caras y sin corrosión del acero.

**D.3** Aquellos con desprendimiento de material en 2 caras y sin corrosión del acero.

**D.4** Aquellos con desprendimiento de material en 1 cara y sin corrosión del acero.

#### **Clasificación E. Sin daños**

Representan las columnas del nivel 4 hasta el nivel 13.

Tabla 7. Clasificación de daños en columnas.

Nivel	Elemento	Clasificación	Ubicación	Longitud	Cara	Observaciones
SOTANO	C1	C-2	Inferior	49,7 cm 40,3cm	Frontal Lateral izquierda	Desprendimiento de material y corrosión del acero
SOTANO	C2	C-1	Inferior	35,2 cm 36,2cm 35,3cm	Frontal Lateral derecha Lateral izquierda	Se observan los aceros corroídos y desprendimiento de material.
SOTANO	C3	C-1	Inferior	33,4 cm 48,1cm 49,5cm	Frontal Lateral derecha Lateral izquierda	Corrosión y desprendimiento de material
SOTANO	C4	A	Inferior	42,3cm 47,4cm 45,1cm 43.5cm	Frontal Lateral derecha Lateral izquierda Posterior	Corrosión y desprendimiento de material
SOTANO	C5	A	Inferior	49,4 cm 48,2cm 43,2cm 40,5cm	Frontal Lateral derecha Lateral izquierda Posterior	Desprendimiento de material Corrosión del acero
SOTANO	C6	B-2	Inferior	16,5 cm 29,1cm 17,3cm 10,1cm	Frontal Lateral derecha Lateral izquierda Posterior	Corrosión del acero
SOTANO	C7	B-1	Inferior	36,5 cm 35,2cm 31,4cm 30,5cm	Frontal Lateral derecha Lateral izquierda Posterior	Corrosión acero con desprendimiento de material
SOTANO	D1	C-3	Inferior	35,5cm	Posterior	Corrosión acero con desprendimiento de material

Nivel	Elemento	Clasificación	Ubicación	Longitud	Cara	Observaciones
<b>SOTANO</b>	D2	A	Inferior	42,3 cm	Frontal	Corrosión acero
				48,2cm	Lateral derecha	
				43,3cm	Lateral izquierda	
				42,8cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	D3	A	Inferior	47,5 cm	Frontal	Corrosión acero
				42,1cm	Lateral derecha	
				40,2cm	Lateral izquierda	
				49,3cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	D4	A	Inferior	47,4cm	Frontal	Corrosión acero
				47,2cm	Lateral derecha	
				46,3cm	Lateral izquierda	
				42,5cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	D5	A	Inferior	48,1 cm	Frontal	Corrosión acero
				46,5cm	Lateral derecha	
				46,2cm	Lateral izquierda	
				43,3cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	D6	B-1	Inferior	33,2 cm	Frontal	Corrosión del acero
				39,1cm	Lateral derecha	
				33,2cm	Lateral izquierda	
				30,2cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	D7	C-3	Inferior	28,1cm	Lateral derecha	Corrosión acero
<b>SOTANO</b>	E1	C-3	Inferior	42,6 cm	Frontal	Corrosión acero
<b>SOTANO</b>	E2	A	Inferior	42,5 cm	Frontal	Corrosión acero
				49,2cm	Lateral derecha	
				43,1cm	Lateral izquierda	
				40,5cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	E3	C-1	Inferior	48,6 cm	Frontal	Corrosión acero
				45,5cm	Lateral derecha	
				40,9cm	Lateral izquierda	

Nivel	Elemento	Clasificación	Ubicación	Longitud	Cara	Observaciones
<b>SOTANO</b>	E4	C-2	Inferior	49,6 cm 42,4cm	Frontal Lateral izquierda	Corrosión acero
<b>SOTANO</b>	E5	A	Inferior	49,6 cm 44,3cm 43,4cm 47,7cm	Frontal Lateral derecha Lateral izquierda Posterior	Corrosión acero
<b>SOTANO</b>	E6	A	Inferior	49,6 cm 47,3cm 42,4cm 41,7cm	Frontal Lateral derecha Lateral izquierda Posterior	Corrosión acero
<b>SOTANO</b>	E7	C-3	Inferior	32,5cm	Lateral derecha	Corrosión acero
<b>SOTANO</b>	F1'	C-2	Inferior	48,5cm 43,2cm	Lateral izquierda Posterior	Corrosión acero
<b>SOTANO</b>	F2'	B-1	Inferior	36,7 cm 33,7cm 34,5cm 31,2cm	Frontal Lateral derecha Lateral izquierda Posterior	Corrosión acero
<b>SOTANO</b>	F3'	B-1	Inferior	35,7 cm 31,7cm 32,5cm 39,2cm	Frontal Lateral derecha Lateral izquierda Posterior	Corrosión acero
<b>SOTANO</b>	F4'	A	Inferior	48,7 cm 49,5cm 41,6cm 46,5cm	Frontal Lateral derecha Lateral izquierda Posterior	Corrosión acero
<b>SOTANO</b>	F5'	B-2	Inferior	26,7 cm 23,7cm 14,5cm 11,2cm	Frontal Lateral derecha Lateral izquierda Posterior	Corrosión acero
<b>SOTANO</b>	F6'	C-2	Inferior	38,7 cm 33,5cm	Frontal Lateral derecha	Corrosión acero

Nivel	Elemento	Clasificación	Ubicación	Longitud	Cara	Observaciones
<b>SOTANO</b>	G1'	C-3	Inferior	16,7 cm	Frontal	Corrosión acero
				13,8cm	Lateral izquierda	
				27,9cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	G2'	A	Inferior	48,7 cm	Frontal	Corrosión acero
				46,7cm	Lateral derecha	
				43,5cm	Lateral izquierda	
				45,6cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	G3'	B-1	Inferior	32,7 cm	Frontal	Corrosión acero
				39,7cm	Lateral derecha	
				31,5cm	Lateral izquierda	
				35,2cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	G4'	B-2	Inferior	26,8 cm	Frontal	Corrosión acero
				21,6cm	Lateral derecha	
				15,6cm	Lateral izquierda	
				29,3cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	G5'	A	Inferior	45,3 cm	Frontal	Corrosión acero
				41,5cm	Lateral derecha	
				42,5cm	Lateral izquierda	
				49,5cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	G6'	C-3	Inferior	36,7 cm	Frontal	Corrosión acero
				34,7cm	Lateral derecha	
				31,2cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	H1'	C-2	Inferior	46,5cm	Lateral izquierda	Corrosión acero
				49,2cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	H2'	C-3	Inferior	46,4cm	Lateral derecha	Corrosión acero
				43,9cm	Lateral izquierda	
				47,6cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	H3'	C-3	Inferior	41,7cm	Lateral derecha	Corrosión acero
				46,5cm	Lateral izquierda	
				43,2cm	Posterior	

Nivel	Elemento	Clasificación	Ubicación	Longitud	Cara	Observaciones
<b>SOTANO</b>	H4'	C-3	Inferior	33,5cm	Lateral derecha	Corrosión acero
				31,9cm	Lateral izquierda	
				38,9cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	H5'	C-3	Inferior	49,5cm	Lateral derecha	Corrosión acero
				46,1cm	Lateral izquierda	
				43,4cm	Posterior	
<b>SOTANO</b>	H6'	C-2	Inferior	46,4cm	Lateral derecha	Corrosión acero
				45,8cm	Posterior	
<b>PB</b>	C2	C-1	Inferior	49,6 cm	Frontal	Desprendimiento de material
				47,3cm	Lateral derecha	
				42,4cm	Lateral izquierda	
<b>PB</b>	C3	C-2	Inferior	34,1cm	Frontal	Corrosión
				22,5cm	Lateral derecha	
<b>PB</b>	C4	C-2	Inferior	17,2cm	Frontal	Corrosión
				12,6cm	Lateral izquierda	
<b>PB</b>	C5	C-2	Inferior	13,3cm	Frontal	Corrosión
				14,5cm	Lateral derecha	
<b>PB</b>	C6	A	Inferior	41,3cm	Frontal	Corrosión
				43,1cm	Lateral derecha	
				45,2cm	Lateral izquierda	
				47,6cm	Posterior	
<b>PB</b>	D6	C-1	Inferior	23,4cm	Frontal	Corrosión
				25,4cm	Lateral derecha	
				22,5cm	Posterior	
<b>PB</b>	E7	C-3	Inferior	33,4cm	Lateral izquierda	Corrosión acero
<b>PB</b>	E6	C-1	Inferior	25,6cm	Frontal	Corrosión acero
				30,2cm	Lateral derecha	
				23,4cm	Posterior	
<b>PB</b>	D5	A	Inferior	40,3 cm	Frontal	Corrosión acero
				48,2cm	Lateral derecha	
				46,3cm	Lateral izquierda	
				48,1cm	Posterior	

Nivel	Elemento	Clasificación	Ubicación	Longitud	Cara	Observaciones
<b>PB</b>	E5	C-1	Inferior	28,3cm 26,2cm 38,3cm	Posterior Lateral izquierda Lateral derecha	Corrosión acero
<b>PB</b>	G2'	C-2	Inferior	16,4cm 18,3cm	Posterior Lateral derecha	Corrosión acero
<b>PB</b>	F2'	C-3	Inferior	15,1cm	Lateral derecha	Corrosión acero
<b>PB</b>	E1	C-3	Inferior	12,3cm	Frontal	Corrosión acero
<b>PB</b>	E2	C-3	Inferior	18,5cm	Lateral derecha	Corrosión acero
<b>PB</b>	D1	C-3	Inferior	45,1cm	Lateral izquierda	Corrosión acero
<b>PB</b>	D2	C-2	Inferior	36,9cm 35,7cm	Frontal Lateral derecha	Corrosión acero
<b>PB</b>	D4	C-3	Inferior	24,6cm	Posterior	Corrosión acero
<b>BIBLIOTECA</b>	C2	C-2	Inferior	16,8cm 15,6cm	Frontal Lateral derecha	Corrosión acero
<b>BIBLIOTECA</b>	E4	D-1	Inferior	Indiferente	Frontal Posterior Lateral derecha Lateral izquierda	Desprendimiento de material
<b>BIBLIOTECA</b>	F1'	D-3	Inferior	Indiferente	Lateral derecha Frontal	Desprendimiento de material
<b>BIBLIOTECA</b>	D4	C-2	Inferior	23,9cm 25,4cm	Lateral izquierda Posterior	Corrosión acero
<b>BIBLIOTECA</b>	D5	C-3	Inferior	Indiferente	Frontal	
<b>BIBLIOTECA</b>	E5	D-2	Inferior	Indiferente	Frontal Lateral derecha Posterior	Desprendimiento de material
<b>BIBLIOTECA</b>	C6	D-4	Inferior	Indiferente	Lateral derecha	

Nivel	Elemento	Clasificación	Ubicación	Longitud	Cara	Observaciones
TEATRO	C2	C-3	Inferior		Frontal	Corrosión, acero
TEATRO	F3'	D-4	Inferior		Lateral derecha	Desprendimiento de material
TEATRO	D4	C-3	Inferior		Lateral izquierda	Corrosión
TEATRO	H5'	D-4	Inferior		Lateral derecha	Desprendimiento de material
TEATRO	C6	C-3	Inferior		Lateral izquierda	Desprendimiento de material, corrosión
TEATRO	E3	C-3	Inferior		Lateral izquierda	Corrosión, acero
TEATRO	H2'	C-2	Inferior		Lateral izquierda	Corrosión, acero
TEATRO	H3'	C-3	Inferior		Frontal	Desprendimiento de material, corrosión
OFICINA	E4	D-3	Inferior		Posterior Lateral derecha	Desprendimiento de material
OFICINA	C5	C-3	Inferior		Lateral derecha	Desprendimiento de material, corrosión
OFICINA	C3	D-4	Inferior		Frontal	Desprendimiento de material
OFICINA	E2	D-4	Inferior		Frontal	Desprendimiento de material
OFICINA	C6	C-3	Inferior		Lateral derecha	Desprendimiento de material, corrosión
OFICINA	C1	D-3	Inferior		Frontal Lateral izquierda	Desprendimiento de material

Nota: la vista para la ubicación de las caras, fue perpendicular a la avenida 5 de Julio.

### **3.3.2.2.1.3 Clasificación de los daños en vigas**

Las vigas no presentan ningún daño desde planta baja hasta el nivel 13.

Solo presentan carbonatación y eflorescencia en el semisótano

### **3.3.2.2.1.4 Clasificación de los daños en losas**

Los daños en las losas se evaluaron por áreas ( $m^2$ ).

#### **Clasificación A. Daños graves**

Representan la superficie con áreas de  $1m^2$  a  $2m^2$  con desprendimiento de material y corrosión del acero.

#### **Clasificación B. Daños moderados**

Aquellas superficies con áreas de  $0,1m^2$  a  $1m^2$  con corrosión del acero.

#### **Clasificación C. Daños leves**

Representan aquellas superficies con áreas de  $0,1m^2$  a  $2m^2$  sin corrosión del acero.

#### **Clasificación D. Sin Daños**

Todas las losas comprendidas desde el nivel 4 hasta el nivel 13.

Tabla 8. Clasificación de daños en losas.

<b>Nivel</b>	<b>Área</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Observaciones</b>
<b>SOTANO</b>	Toda	A	En toda la losa	Desprendimiento de material y corrosión
<b>PB</b>	1,2	A	Entre D2 y D3	Desprendimiento de material, corrosión
<b>PB</b>	0,8	C	Entre G2' y G3'	Sin corrosión
<b>PB</b>	0,6	B	Entre C5 y C6	Corrosión, acero
<b>PB</b>	1.8	A	Entre G4' y G5'	Desprendimiento de material, corrosión
<b>PB</b>	1,5	A	Entre D5 y D6	Desprendimiento de material, corrosión
<b>BIBLIOTECA</b>	0.3	B	Entre G1' y G2'	Desprendimiento de material, corrosión
<b>BIBLIOTECA</b>	0.1	C	Entre D1 y D2	Sin corrosión
<b>BIBLIOTECA</b>	0.1	B	Entre C4 y C5	Desprendimiento de material, corrosión
<b>TEATRO</b>	0.2	C	Entre F1' y F2'	Desprendimiento de material, corrosión
<b>TEATRO</b>	0.5	B	Entre D3 y D4	Sin corrosión

### 3.3.2.2.1.5 Clasificación de los daños en escaleras.

#### Clasificación A. Grave

Corresponde a las escaleras con mayor desprendimiento de material en 4 a 6 escalones.

#### Clasificación B. Moderado

Constituyen las escaleras que presentan desprendimiento de material de 1 a 3 escalones.

#### Clasificación C. Sin daños

Tabla 9. Clasificación de daños en escaleras.

Nivel	Escalera	Clasificación	Escalones	Observaciones
SOTANO	1	A	9	Desprendimiento de material
SOTANO	2	A	7	Desprendimiento de material
PB	3	A	5	Desprendimiento de material
PB	4	A	4	Desprendimiento de material
BIBLIOTECA	5	A	5	Desprendimiento de material
BIBLIOTECA	6	B	3	Desprendimiento de material
TEATRO	7	B	2	Desprendimiento de material
TEATRO	8	B	3	Desprendimiento de material

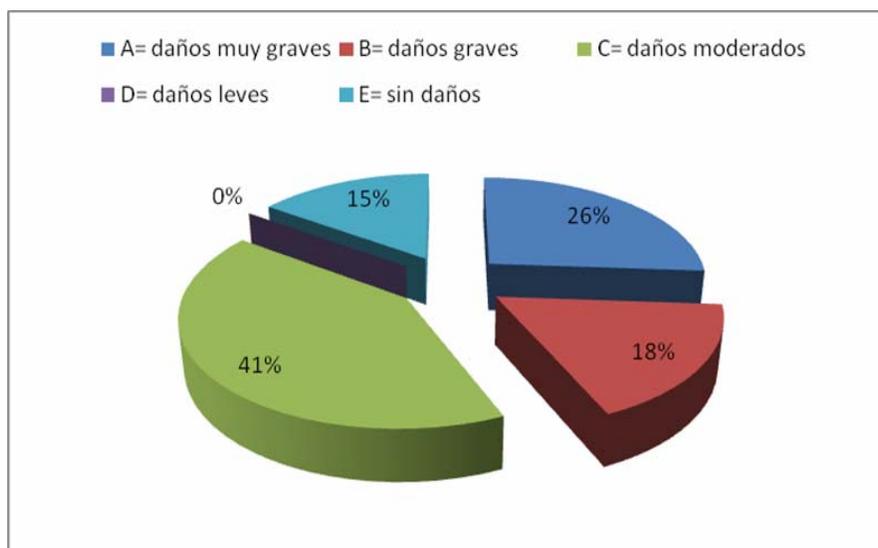
Las escaleras no presentan ningún tipo de daños, desde el nivel 4 hasta el nivel 13.

### 3.3.2.2.2 Distribución porcentual de los daños presentes en elementos estructurales.

Para comprender mejor el grado y la magnitud de los daños presentes en la edificación se cuantificaron los daños representados en un cuadro clínico, a través de una distribución porcentual por nivel y tipo de elemento.

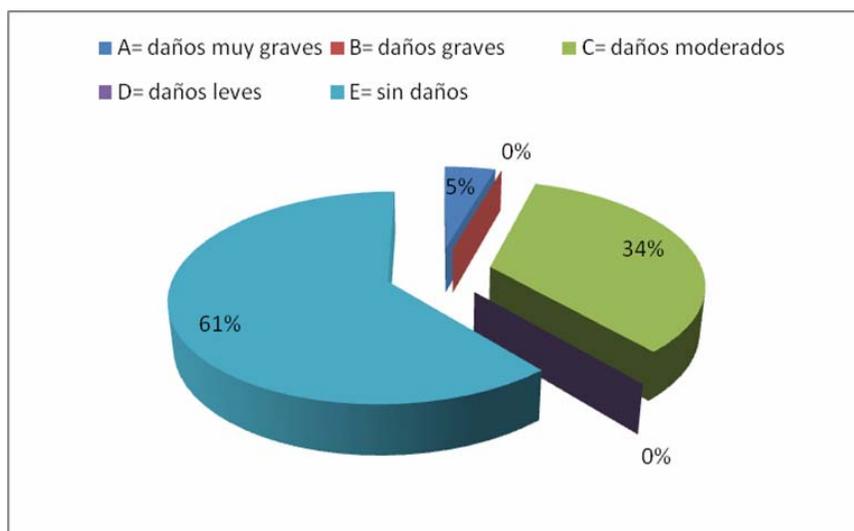
#### 3.3.2.2.2.1 Columnas

SOTANO		
Nivel de daño	Cantidad	Porcentaje
<b>A= Daños muy graves</b>	12	26
<b>B= Daños graves</b>	8	17
<b>C= Daños moderados</b>	19	41
<b>D= Daños leves</b>	0	0
<b>E= Sin daños</b>	7	15



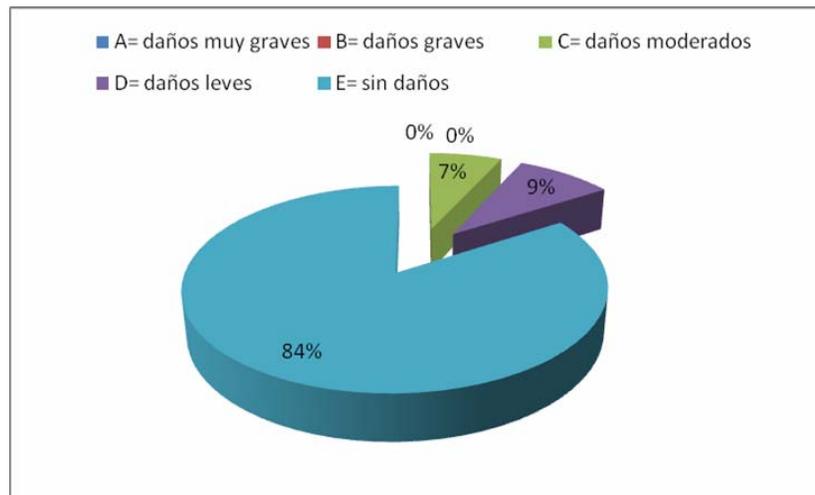
Total columnas: 46

<b>PB</b>		
<b>Nivel de daño</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>A= Daños muy graves</b>	2	5
<b>B= Daños graves</b>	0	0
<b>C= Daños moderados</b>	15	34
<b>D= Daños leves</b>	0	0
<b>E= Sin daños</b>	27	61



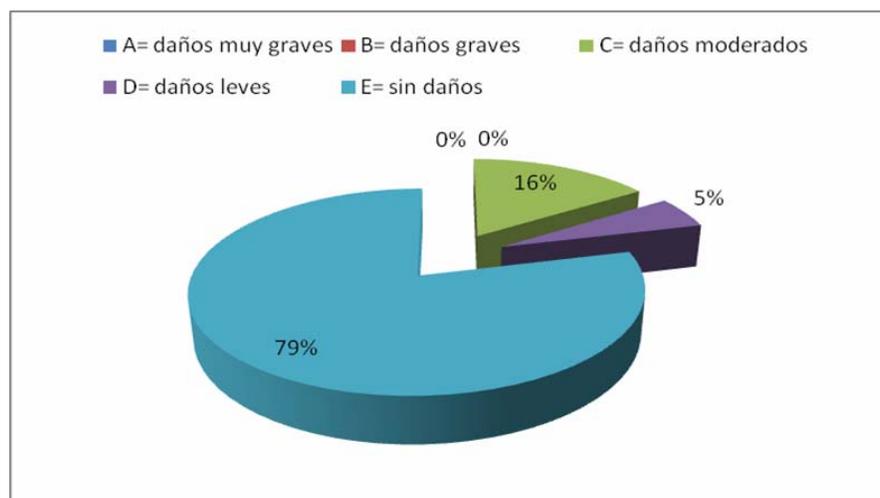
Total columnas: 44

<b>BIBLIOTECA</b>		
<b>Nivel de daño</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>A= Daños muy graves</b>	0	0
<b>B= Daños graves</b>	0	0
<b>C= Daños moderados</b>	3	7
<b>D= Daños leves</b>	4	9
<b>E= Sin daños</b>	37	84



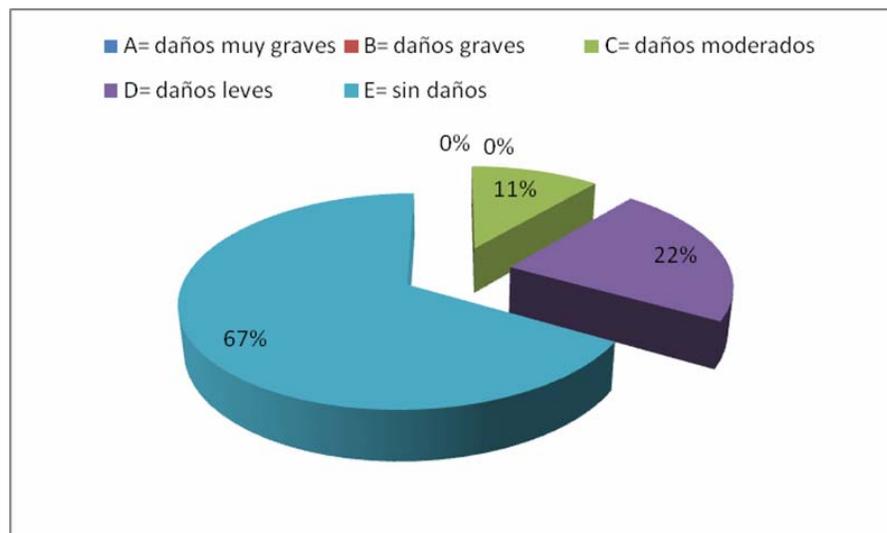
Total columnas: 44

TEATRO		
Nivel de daño	Cantidad	Porcentaje
<b>A= Daños muy graves</b>	0	0
<b>B= Daños graves</b>	0	0
<b>C= Daños moderados</b>	6	16
<b>D= Daños leves</b>	2	5
<b>E= Sin daños</b>	30	79



Total columnas: 38

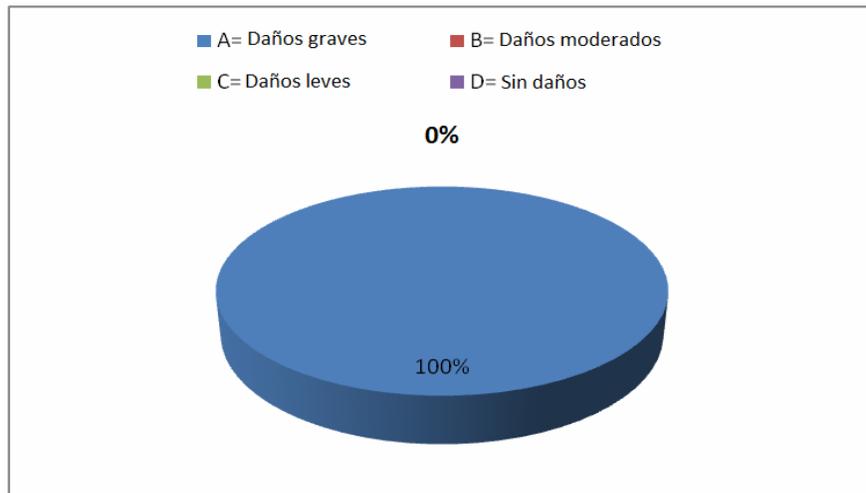
OFICINA		
Nivel de daño	Cantidad	Porcentaje
<b>A= Daños muy graves</b>	0	0
<b>B= Daños graves</b>	0	0
<b>C= Daños moderados</b>	6	11
<b>D= Daños leves</b>	0	22
<b>E= Sin daños</b>	12	67



Total columnas: 18

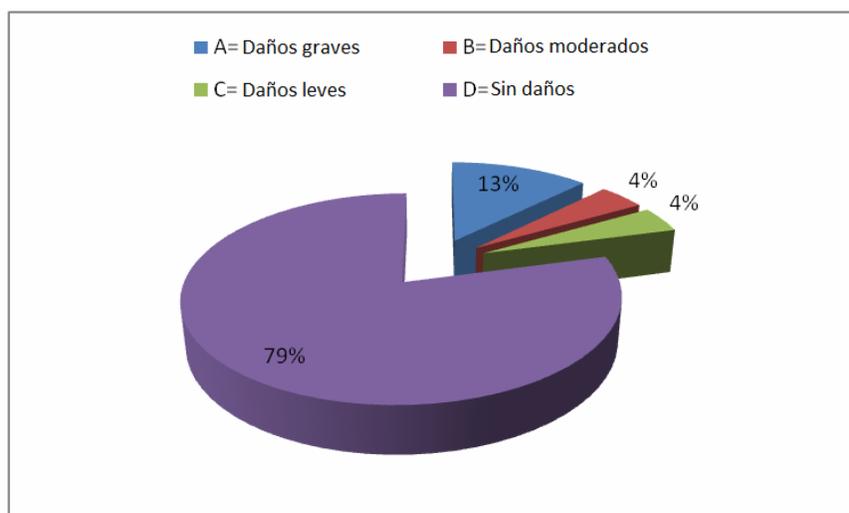
### 3.3.2.2.3. Losas

SOTANO		
Nivel de daño	Cantidad	Porcentaje
<b>A= Daños graves</b>	27	100
<b>B= Daños moderados</b>	0	0
<b>C= Daños leves</b>	0	0
<b>D= Sin daños</b>	0	0



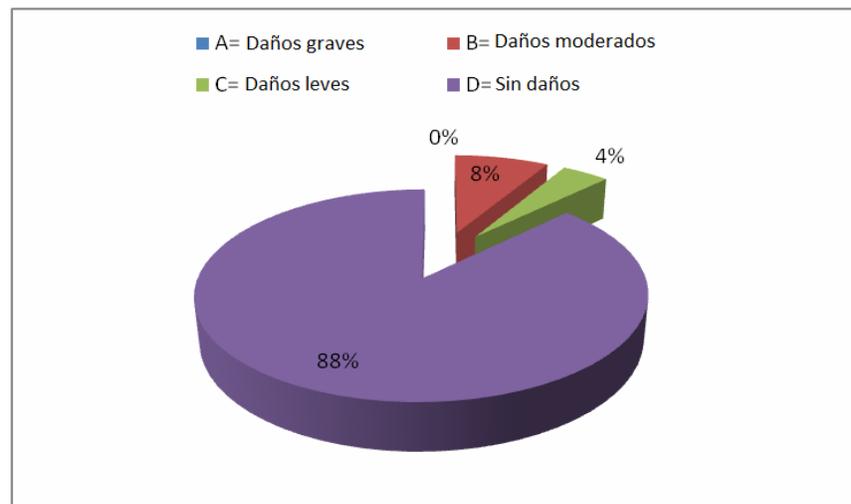
Total losas: 27

<b>PB</b>		
Nivel de daño	Cantidad	Porcentaje
<b>A= Daños graves</b>	3	13
<b>B= Daños moderados</b>	1	4
<b>C= Daños leves</b>	1	4
<b>D= Sin daños</b>	19	79



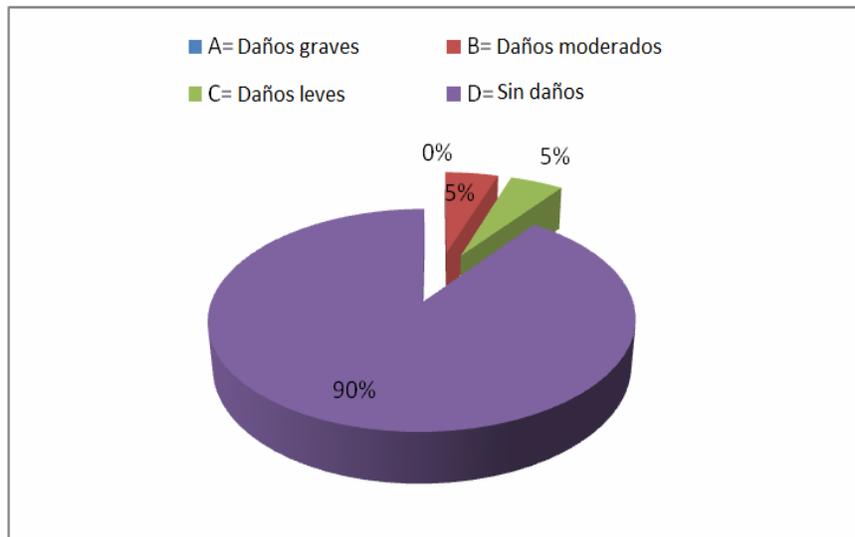
Total losas: 24

<b>BIBLIOTECA</b>		
<b>Nivel de daño</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>A= Daños graves</b>	0	0
<b>B= Daños moderados</b>	2	8
<b>C= Daños leves</b>	1	4
<b>D= Sin daños</b>	21	88



Total losas: 24

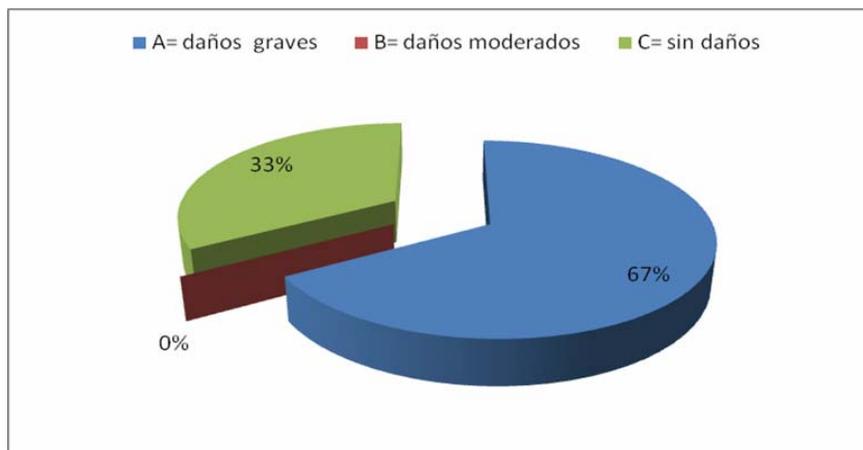
<b>TEATRO</b>		
<b>Nivel de daño</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>A= Daños graves</b>	0	0
<b>B= Daños moderados</b>	1	5
<b>C= Daños leves</b>	1	5
<b>D= Sin daños</b>	18	90



Total losas: 20

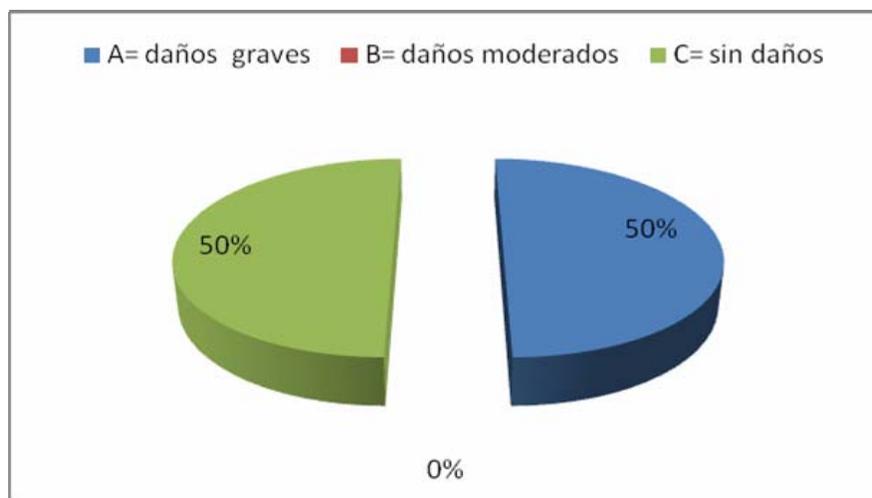
#### 3.3.2.2.4. Escaleras

SOTANO		
Nivel de daño	Cantidad	Porcentaje
<b>A= Daños graves</b>	12	67
<b>B= Daños moderados</b>	0	0
<b>C= Sin daños</b>	6	33



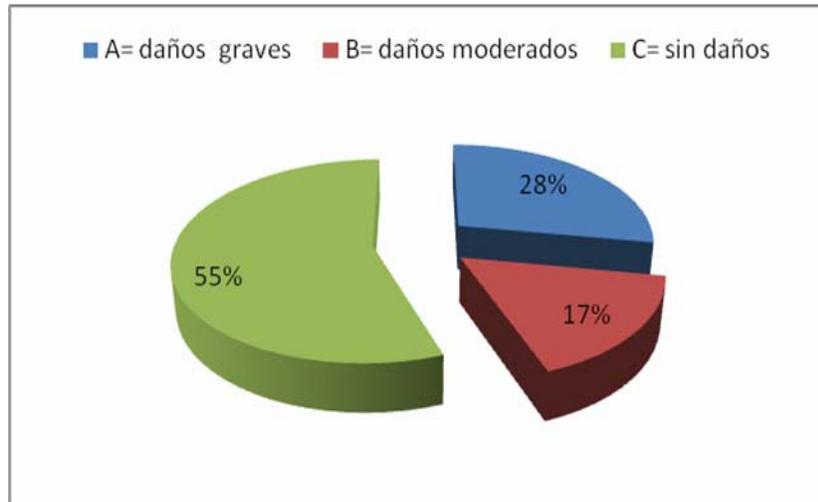
Total escalones: 18

<b>PB</b>		
<b>Nivel de daño</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>A= Daños graves</b>	9	50
<b>B= Daños moderados</b>	0	0
<b>C= Sin daños</b>	9	50



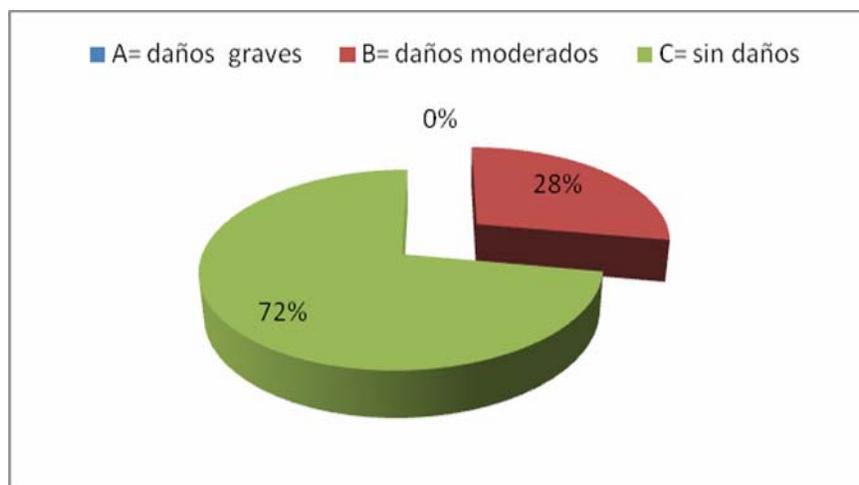
Total escalones: 18.

<b>BIBLIOTECA</b>		
<b>Nivel de daño</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>A= Daños graves</b>	5	28
<b>B= Daños moderados</b>	3	17
<b>C= Sin daños</b>	10	56



Total escalones: 18

TEATRO		
Nivel de daño	Cantidad	Porcentaje
<b>A= Daños graves</b>	0	0
<b>B= Daños moderados</b>	5	28
<b>C= Sin daños</b>	13	72



Total escalones: 18

De acuerdo a los gráficos anteriores se puede observar:

1. En el sótano es donde se presentan el mayor porcentaje de daños con un 26% muy grave en columnas, un 100% de daños graves en losas y un 67% de daños graves en escaleras.
2. En planta baja se puede apreciar que solo el 5% de las columnas tiene daños muy graves y el 34% de daños moderados. Las demás no tienen daños. En cuanto a losas solo el 13% presenta daños graves y el 4% de daños moderados y leves con el 79% sin daños. Las escaleras presentaron 50% de daños graves y el resto sin daños.
3. En el nivel biblioteca van disminuyendo los valores en daños, ya que las columnas solo presentan 7% en daños moderados y 9% en daños leves, el resto sin daños. Las losas presentan 8% y 4% de daños graves y moderados con el resto sin daños y las escaleras con un 28% y 17% de daños graves y moderados con el resto sin daño.
4. El nivel destinado para el teatro presenta en sus columnas un 16% de daños moderados y un 5% de daños leves y el resto sin daño alguno. Las losas solo presentan 5% tanto en daños moderados como leves y el resto en buen estado. Las escaleras presentan 28% en daños moderados y el resto sin daños.
5. En el nivel oficina los daños presentes en las columnas son del 11% en daños moderados, el 22% de daños leves y los demás sin daño, las losas no presentan daños al igual que las escaleras.
6. El resto de los niveles no presentan daños en sus elementos tanto estructurales como no estructurales.

## **CAPITULO IV**

### **FUNDAMENTOS PRÁCTICOS**

#### **4.1. Ensayos no destructivos (Esclerómetro)**

El ensayo esclerométrico es un valioso auxiliar de medición pero no puede ser directamente relacionado con la resistencia del concreto, por lo cual no se permitirá utilizar como único método para evaluar cuantitativamente la calidad del concreto endurecido.

Este procedimiento se realizó para hacer un descarte entre columnas y vigas en las que posteriormente se van a extraer núcleos (Core-drill), para los cuales se tomaran los miembros con menor índice esclerométrico, ya que estos valores solo permiten estimar una resistencia superficial de la masa de concreto.

El equipo utilizado fue un esclerómetro Marca Schmidt Tipo N, el cual consiste en una punta de percusión alojada en un cuerpo cilíndrico en el interior del cual se mueve una masa bajo la acción de resortes de presión. (Foto 18).



Foto 18. Esclerómetro

El golpe se produce al liberar la energía de un resorte que impulsa la masa metálica sobre el concreto. El resorte se dispara cuando la presión que ejerce el operador con el aparato sobre la superficie de concreto, llega al punto conveniente. El rebote es medido en una escala graduada, siendo evidente, en general, que a mayor rebote mayor dureza superficial.

Todo el procedimiento fue basado en las normas COVENIN 1609-80 y 1976-03. Estas pruebas se realizaron en todos los elementos estructurales que conforman el edificio, en los cuales se escogió una zona distinta para realizar los impactos cuidando que estas estuvieran secas, limpias, planas y sin friso, esto se logro lijando bien la superficie con una piedra especial que trae el aparato. Durante todo el ensayo la presión del operador se trato de mantener constante para evitar la disparidad de los valores. (Fotos 19, 20, 21 y 22).



Foto 19. Uso de piedra especial



Foto 20. Limpieza de la zona



Foto 21. Lectura en viga



Foto 22. Lectura en columna

Para cada elemento estructural se realizaron 10 impactos, obteniendo así una tabla de uniformidad con diez lecturas eliminando los valores que diferían de manera evidente, reemplazándolo por un nuevo impacto. Estos

valores anormales se presentan usualmente cuando el impacto se efectúa sobre un grano de agregado grueso o sobre un poro.

Para estimar el orden de la magnitud de la resistencia del concreto, los índices esclerométricos se llevan a unas curvas de calibración correspondientes a la zona donde se efectuó la obra.

Cabe resaltar que los instrumentos comerciales tienen unas curvas de calibración que indican los valores probables de resistencia las cuales tienen validez restringida ya que son aplicables únicamente en aquellos casos en los cuales el concreto ensayado tenga las mismas características a las utilizadas en la calibración. En caso de que no se disponga de tal información se deben elaborar una curva de calibración para el concreto ensayado. Para efecto de esta investigación la curva de calibración tuvo que asumirse igual a la que tiene el aparato debido a que no contamos con las probetas testigos de la obra inicial. (Apéndice D).

#### 4.1.1. Muestra de valores de resistencia por ensayo esclerométricos.

Elemento	Nivel	Cara	Zona	Lectura promedio	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
PB D3	PB	Posterior	Centro	38	365
PB C2 –D2	PB	Inferior	esquina	43	497
PB G3'	PB	Posterior	Centro	36	325
P2 D5	P2	Posterior	Centro	40	400
P2 D5-D6	P2	Inferior	Centro	46	550
P2 H4'	P2	Posterior	Centro	37	345
P3 D3	P3	Posterior	Centro	39	395
P3 E4 –E5	P3	Posterior	Esquina	41	420
P3 E5	P3	posterior	centro	40	400

Nota: las lecturas completas de los niveles PB, P2 y P3 se encuentran en el Apéndice D.

#### 4.2. Técnica de la fenolftaleína

Esta técnica fue empleada para corroborar que en algunos niveles y elementos de la estructuras existe carbonatación, además para observar cuan profundo había llegado está a penetrar la estructura.

Para realizar dicha prueba se tomaron tres probetas de las columnas y vigas donde se sospechaba que existía carbonatación, las cuales están ubicadas en el semisótano y planta baja. (Fotos 23, 24,25 y 26).



Foto 23. Toma de muestra



Foto 24. Probeta Viga semisótano



Foto 25. Probeta Columna semisótano



Foto 26. Probeta PB

La sustancia utilizada es un compuesto químico que se obtiene por reacción del fenol ( $C_6H_5OH$ ) y el anhídrido ftálico ( $C_8H_4O_3$ ), en presencia de ácido sulfúrico. Es un sólido blanco o incoloro, se utiliza como indicador de pH que en soluciones ácidas permanece incoloro, pero en presencia de bases se torna color. (Foto 27).



Foto 27. Fenolftaleína

La fenolftaleína fue preparada al 1% en agua destilada. La solución fue agregada a las probetas esperando su reacción. Las cuales en fracciones de segundos comenzaron a mostrar un color violeta muy fuerte. Que según la tabla clasificatoria del pH indica que es 11. (Foto 28, 29, 30 y 31).



Foto 28. Aplicación de la fenolftaleína



Foto 29. Viga (SS)

Foto 30. Columna (SS)

Foto 31. Columna (PB)

En estas tres últimas fotografías se puede observar el avance de la carbonación en las zonas ensayadas donde la parte más afectada de manera evidente es la foto 29 y 31, que representa al semisótano y planta baja.

#### **4.3. Ensayos destructivos (toma de núcleos Core-drill)**

Para determinar la calidad actual del concreto colocado en la obra "FUNDESO" se hizo necesaria la realización de extracciones de núcleos en ciertos elementos estructurales, esto luego de haber establecido el cuadro clínico de la estructura y de haber realizado el ensayo esclerométrico en la

misma. Se determinó extraer 9 núcleos, utilizando una máquina perforadora con broca tubular, con una corona de diamantes en el extremo que hace el corte marca HILTI modelo DD120 de 3" de diámetro. (Foto 32).



Foto 32. Máquina perforadora de concreto para toma de núcleos.

Razones para la selección de los nueve (9) núcleos:

1. Los valores de los índices esclerométricos oscilan entre 30-50, lo cual es un indicativo de que la resistencia actual del concreto está por encima de los  $250 \text{ kg/cm}^2$ , información que fue necesario demostrar, ya que este ensayo mide dureza superficial y es un método poco confiable.
2. La norma COVENIN 1976-03 establece que como mínimo se deben extraer 3 núcleos por zona, que correspondan a una misma fecha y procedimiento de vaciado.

Esta extracción fue hecha de manera aleatoria, debido a la falta de información en cuanto a la fecha de vaciado de los elementos estructurales, se tomó el criterio de perforar los niveles menos dañados. Por lo tanto se consideró que el concreto presente en la estructura es igual en cualquier punto.

Se perforaron 9 núcleos en el nivel acceso (PB), nivel teatro (piso 2) y nivel oficina (piso 3) ubicando aquellas columnas posibles de perforar, tratando de tomar las menos dañadas. (Foto 33, 34, 35 y 36).



Foto 33. Extracción PB



Foto 34. Extracción P2



Foto 35. Extracción P3



Foto 36. Núcleo de viga

No se tomaron muestras en los niveles restantes por razones económicas.

En las losas no se pudo realizar el ensayo debido a que no cumple con la relación de dos establecidos en la norma. (Foto 37, 38 y 39).



Foto 37. Extracción en losa



Foto 38. No cumple con la relación (l/d)



Foto 39. Terminando extracción

Una vez extraídas las muestras se procedió a preparar un mortero epóxico, para sellar los orificios dejados por las extracciones. (Foto 40).



Foto 40. Mortero epóxico

El procedimiento de la extracción y ensayos de los núcleos a compresión para la obtención del diagrama de esfuerzo-deformación, se basó en las normas COVENIN:

345-80. **“Método para la extracción de probetas cilíndricas y viguetas de concreto endurecido”**.

338-02. **“Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto.**

1976-03. **“Concreto. Evaluación y métodos de ensayos”**.

1468-79. **“Método de ensayo para determinar el modulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto”**.

Estas normas establecen que los núcleos extraídos deben tener caras planas y lisas al momento del ensayo, para esto una vez extraídas las muestras y llevadas al laboratorio fue necesario colocar capas de cierto grosor moldeadas con una preparación en base a un compuesto de azufre (remate o capping), y también que la carga para el ensayo tiene que aplicarse a una velocidad constante dentro del rango de  $1,4 \text{ kg/cm}^2/\text{seg}$  a  $3,5 \text{ kg/cm}^2/\text{seg}$ , lo cual se tomó  $80 \text{ kg/seg}$ . (Fotos 41 y 42).



Foto 41. Colocación de capping



Foto 42. Ensayo a compresión

También se tomó en cuenta la relación longitud/diámetro de las probetas (Capítulo I). Para mantener esta relación se cortaron los núcleos hasta lograr la misma.

#### 4.3.1. Resultados de ensayos (core-drill).



BARCELONA 26 DE AGOSTO 2009.  
Ensayo: Resistencia a compresión de núcleos de concreto endurecido (CORE-DRILL)  
Solicita: Elsa Silva/ Johannys Serrano  
Obra: Estudio en el Edif. FUNDESO, Municipio Sotillo, Puerto La Cruz

##### 1. RESULTADOS

Probeta N°	Fecha Extracción	Fecha Ensayo	Peso (gr)	Altura P. (cm)	Diámetro P. (cm)	Carga Ruptura	Densidad (kg/cm <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Identificación del cilindro
1	25/08/2009	26/08/2009	1.226	14,90	6,95	10.534	2,11	278	PB D3
2	25/08/2009	26/08/2009	1.222	14,85	6,95	7.565	2,17	199	PB C2-D2
3	25/08/2009	26/08/2009	1.261	14,90	6,95	10.880	2,20	287	PB-G3
Promedio								255	

##### 2. OBSERVACIONES

- \*La toma, manejo y transporte de los CORE-DRILL fueron tomados por personal del CITO.
- \*Los Core-drill fueron extraídos el Martes 25/08/2009
- \*Los datos observados en la identificación de los Core-drill, corresponde a información suministrada por el cliente.
- \*Los Core-drill fueron ensayados con una Prensa Universal, marca TINIUS OLSEN (con accesorios Rinstrum), calibrada en Agosto de 2009



BARCELONA 28 DE AGOSTO 2009.

Ensayo: Resistencia a compresión de núcleos de concreto endurecido (CORE-DRILL)

Solicita: Elsa Silva/ Johannys Serrano

Obra: Estudio en el Edif. FUNDESO, Municipio Sotillo, Puerto La Cruz

## 1. RESULTADOS

Probeta N°	Fecha Extracción	Fecha Ensayo	Peso (gr)	Altura P. (cm)	Diámetro P. (cm)	Carga Ruptura	Densidad (kg/cm <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Identificación del cilindro
1	27/08/2009	28/08/2009	1.245	14,87	6,96	9.934	2,11	262	P2 D5
2	27/08/2009	28/08/2009	1.289	14,92	6,96	11.554	2,17	305	P2 D5-D6
3	27/08/2009	28/08/2009	1.275	14,83	6,96	9.976	2,20	263	P2 H4
Promedio								277	

## 2. OBSERVACIONES

- \*La toma, manejo y transporte de los CORE-DRILL fueron tomados por personal del CITO.
- \*Los Core-drill fueron extraídos el Jueves 27/08/2009)
- \*Los datos observados en la identificación de los Core-drill, corresponde a información suministrada por el cliente.
- \*Los Core-drill fueron ensayados con una Prensa Universal, marca TINIUS OLSEN (con accesorios Rinstrum), calibrada en Agosto de 2009

BARCELONA 01 DE SEPTIEMBRE DE 2009

Ensayo: Resistencia a compresión de núcleos de concreto endurecido (CORE-DRILL)

Solicita: Elsa Silva/ Johannys Serrano

Obra: Estudio en el Edif. FUNDESO, Municipio Sotillo, Puerto La Cruz

### 1. RESULTADOS

Probeta N°	Fecha Extracción	Fecha Ensayo	Peso (gr)	Altura P. (cm)	Diámetro P. (cm)	Carga Ruptura	Densidad (kg/cm <sup>3</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Identificación del cilindro
1	31/08/2009	01/09/2009	1.238	14,77	6,96	10.465	2,11	276	P3 D3
2	31/08/2009	01/09/2009	1.240	14,79	6,96	9.887	2,17	261	P3 E4-E5
3	31/08/2009	01/09/2009	1.250	14,85	6,96	10.765	2,20	284	P3 E5
Promedio								274	

### 2. OBSERVACIONES

- \*La toma, manejo y transporte de los CORE-DRILL fueron tomados por personal del CITO.
- \*Los Core-drill fueron extraídos el lunes 31/08/2009
- \*Los datos observados en la identificación de los Core-drill, corresponde a información suministrada por el cliente.
- \*Los Core-drill fueron ensayados con una Prensa Universal, marca TINIUS OLSEN (con accesorios Rinstrum), calibrada en Agosto de 2009

#### 4.3.2. Diagrama esfuerzo–deformación.

Se adaptó a dos probetas un extensómetro Huggenberger con apreciación en milésimas de milímetro durante el ensayo anterior para obtener los valores de deformación y con dichos valores realizar los diagramas de esfuerzo-deformación para ratificar que la resistencia a compresión del concreto obtenida en la extracción core-drill cumple con las curvas características de esfuerzo-deformación ya establecidas. (Capítulo II).

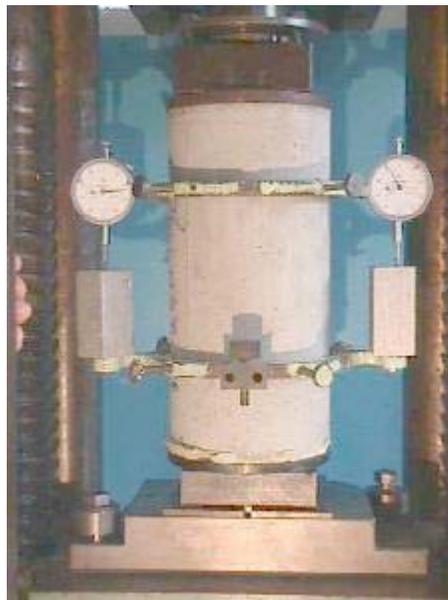


Foto 43. Extensómetro mecánico Huggenberger

### 4.3.2.1. Resultados de ensayo (Huggemberger).



BARCELONA 01 DE SEPTIEMBRE 2009.  
 Ensayo: Deformación de núcleos  
 Solicita: Elsa Silva/ Johannys Serrano  
 Obra: Estudio en el Edif. FUNDESO, Municipio Sotillo, Puerto La Cruz

#### 1. RESULTADOS

Probeta Ensayada: PB D3

Carga (Kg)	Deformación (cm/cm)
0	0
0.87	0,00005
4.48	0,00042
5.72	0,00057
7.82	0,00093
9.52	0,00132
10.53	0,00213
10.13	0,00255
8.73	0,00331
7.97	0,00352
7.40	0,00373

#### 2. OBSERVACIONES

- \*La toma, manejo y transporte de los CORE-DRILL fueron tomados por personal del CITO.
- \*Los Core-drill fueron extraídos el Martes 25/08/2009
- \*Los datos observados en la identificación de los Core-drill, corresponde a información suministrada por el cliente
- \*Los Core-drill fueron ensayados con un Extensómetro de HUGGEMBERGER, con apreciación en milésima de milímetro.



BARCELONA 01 DE SEPTIEMBRE 2009.  
 Ensayo: Deformación de núcleos  
 Solicita: Elsa Silva/ Johannys Serrano  
 Obra: Estudio en el Edif. FUNDESO, Municipio Sotillo, Puerto La Cruz

## 1. RESULTADOS

Probeta Ensayada: P2 D5

Carga (Kg)	Deformación (cm/cm)
0	0
0.83	0,00012
4.10	0,00051
5.19	0,00083
6.98	0,00092
9.33	0,00142
9.93	0,00225
9.41	0,00288
7.97	0,00312
6.68	0,00351
6.03	0,00376

## 2. OBSERVACIONES

- \*La toma, manejo y transporte de los CORE-DRILL fueron tomados por personal del CITO.
- \*Los Core-drill fueron extraídos el Martes 25/08/2009
- \*Los datos observados en la identificación de los Core-drill, corresponde a información suministrada por el cliente
- \*Los Core-drill fueron ensayados con un Extensómetro de HUGGEMBERGER, con apreciación en milésima de milímetro.

#### 4.3.2.2. Tablas de esfuerzo deformación.

Probeta Ensayada: PB D3

Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)
0	0
23	0,00005
118	0,00042
151	0,00057
206	0,00093
251	0,00132
278	<b>0,00213</b>
267	0,00255
230	0,00331
210	0,00352
195	0,00373

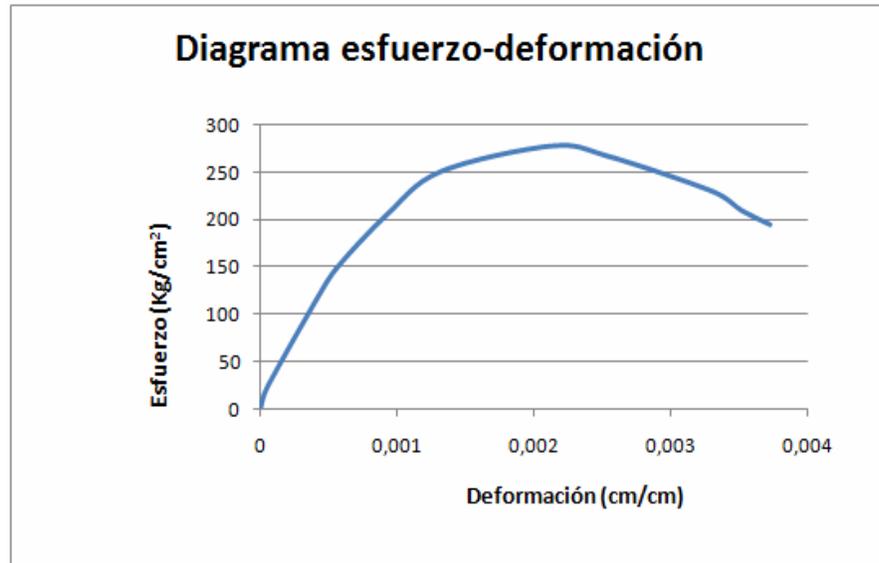
Probeta Ensayada: P2 D5

Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (cm/cm)
0	0
22	0,00012
108	0,00051
137	0,00063
184	0,00092
246	0,00142
262	<b>0,00225</b>
248	0,00266
210	0,00312
176	0,00351
159	0,00376

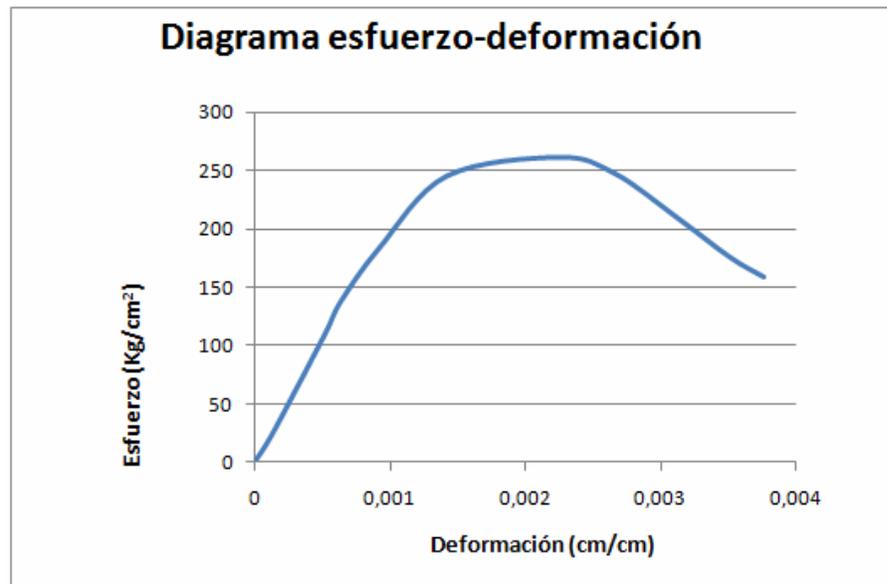
**Nota:** El esfuerzo se obtuvo dividiendo las cargas entre el área de la probeta ( $\sigma = P/A$ )

#### 4.3.2.3. Diagramas.

Probeta Ensayada: PB D3



Probeta Ensayada: P2 D5



#### 4.4. Cuadro comparativo de las resistencias.

Elemento	Nivel	L/d	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a tracción (0,10rc) kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia esclerómetro (kg/cm <sup>2</sup> )	Índice esclerométrico
<b>PB D3</b>	PB	2,14	278	27,8	365	38
<b>PB C2 –D2</b>	PB	2,14	199	19,9	497	43
<b>PB G3'</b>	PB	2,14	287	28,7	325	36
<b>P2 D5</b>	P2	2,14	262	26,2	400	40
<b>P2 D5-D6</b>	P2	2,14	305	30,5	550	46
<b>P2 H4'</b>	P2	2,14	263	26,3	345	37
<b>P3 D3</b>	P3	2,14	276	27,6	395	39
<b>P3 E4 –E5</b>	P3	2,14	261	26,1	420	41
<b>P3 E5</b>	P3	2,14	284	28,4	400	40

#### 4.4.1. Calculo de la resistencia final.

La resistencia debe cumplir con los siguientes valores establecidos en la norma COVENIN 1976-03:

1. Promedio de las nueve resistencias  $\geq 0,85f'_c$

$$\frac{278+199+287+262+305+263+276+261+284}{9} \geq 0,85 * 250$$

$$268,33 \geq 212,5 \text{ ok!}$$

2. El menor valor  $\geq 0,75f'_c$

$$199 \geq 187,5 \text{ ok!}$$

Tomando como resistencia final el menor valor obtenido que es:

$$f'_c = 199/0,75 = 265 \text{ kg/cm}^2$$

## CAPITULO V

### DIAGNÓSTICO

#### 5.1. Análisis del estado de fisuración en los elementos estructurales

A pesar de todo el tiempo que tiene la estructura construida no se encontró ninguna fisura en ninguno de sus elementos estructurales. Hay fisuras en algunas de sus paredes pero por extracción de tableros eléctricos.



Foto 44. Pared agrietada y cajetín eléctrico corroído.

#### 5.2. Análisis del estado de corrosión de los elementos estructurales.

A partir de la observación detallada de los elementos dañados y de la revisión de los datos especificados en el cuadro clínico se analizaron varios aspectos los cuales tienen especial importancia en la durabilidad de la estructura, entre estas tenemos:

1. La mayoría de las columnas presentaron desprendimiento de material y corrosión de la armadura por esto hay que hacer una revisión detallada de la resistencia de dichos elementos.
2. Las vigas no presentaron daños de ningún tipo a excepción de las vigas del semisótano, que presentaron carbonatación. Por lo tanto es necesario revisar con detalle dichos elementos.
3. En lo que respecta a losas y escaleras el daño más severo se encuentra en el semisótano y planta baja, debido a la gran exposición que tienen estas con el agua, es necesario evaluar los criterios de estructuración del edificio.
4. En los elementos no estructurales se puede apreciar desprendimiento de frisos y en algunos casos como en el nivel semisótano hay carbonatación.

Al examinar los aspectos anteriores se precisó que para estudiar el origen de estos daños se recomienda un análisis estructural por medio de las normas COVENIN ya señaladas. Esto con el objeto de revisar el acero de sus elementos estructurales así, como también todos aquellos parámetros establecidos en las normas que nos permitan detectar si se encuentra dentro de los rangos aceptables.

### **5.3. Análisis de los resultados de pruebas y ensayos.**

#### **5.3.1. Evaluación de la calidad del concreto mediante ensayos destructivos y no destructivos.**

Una vez realizada las pruebas de esclerometría y la extracción de núcleos se obtuvieron las siguientes acotaciones:

1. Las resistencias obtenidas de la gráfica de calibración esclerométrica no coinciden con las obtenidas en el ensayo a compresión. Los resultados del ensayo esclerométrico tuvieron un aumento del 13% al 80% con respecto a la resistencia de los núcleos extraídos del concreto endurecido; por lo que se deduce que el esclerómetro solo debe usarse como un mecanismo guía para la evaluación de la calidad de cualquier concreto, el cual se debe complementar con otros tipos de ensayos informativos que permitan arrojar resultados confiables.
2. El concreto se utiliza principalmente para resistir la compresión, su curva esfuerzo deformación es de fundamental interés para el cálculo de los elementos de concreto reforzado de una estructura, en nuestro caso se realizaron dichos diagramas para cerciorarnos que la resistencia obtenida en los núcleos cumplía con las curvas características ya establecidas por distintos autores (Capítulo II). Las cuales nos dieron valores muy semejantes.
3. Establecer un estudio que garantice la confiabilidad de los resultados de las nueve extracciones sería muy complejo y costoso, debido a que tendría que tomarse un mayor número de núcleos que hayan correspondido a un mismo control de calidad para el momento del vaciado. Información que no existe actualmente por esto la disparidad de los valores ya que son muestras tomadas aleatoriamente basadas en los menores índices esclerométricos y en los elementos menos dañados.
4. Las extracciones de núcleo es un ensayo que solo nos permite comprobar y demostrar la resistencia real de una estructura dejando fallas en los resultados debido a los siguientes factores:

- Edad del concreto
- Diámetro de los núcleos a extraer
- Relación esbeltez
- Armadura dentro de los núcleos
- Altura de extracción y nivel de resistencia
- Dirección de extracción

5. Las probetas ensayadas presentaron un patrón semejante en la masa de concreto:

- Homogeneidad de la mezcla
- Buena adherencia entre los agregados y la mezcla.
- Agregados de forma irregular
- Presencia de pequeños poros
- Los nueve núcleos presentaron un ángulo de falla similar.

Aproximadamente  $45^\circ$  con respecto a sus caras.

6. El concreto existente en la estructura puede ser considerado como aceptable, ya que existe un balance entre los siguientes componentes:

- La rotura de los núcleos se presentó por el agregado y la pasta. Esto indica que la calidad agregado-pasta no se sobrepasan.
- No hubo desprendimiento del agregado grueso de la pasta y tampoco rompimiento del mortero en fragmentos, lo cual certifica buena adherencia entre los mismos.

7. La resistencia a tracción se tomó como un 10% de la resistencia a compresión, debido a numerosos ensayos realizados por muchos investigadores.

Es importante resaltar que entre ambas resistencias actúan de manera diferente a las siguientes características del material:

- Relación agua/cemento. Cuanto menos sea, mas alta serán ambas resistencias, pero el aumento es más pronunciado en la resistencia a compresión.
- Textura superficial del agregado. La rugosidad de los agregados triturados favorece la adherencia de la pasta e influye de manera más sensible en la resistencia a tracción. También se ha encontrado que las partículas planas y alargadas que perjudican la resistencia a compresión ayudan a aumentar la resistencia a tracción.
- Ganancia de resistencia. A mayor edad mejoran las resistencias del concreto, pero la velocidad de ganancia es mucho menor en la resistencia a tracción.

### **5.3.2. Evaluación de la carbonatación del concreto mediante Fenolftaleína.**

Una vez terminada la prueba se pudo observar lo siguiente:

1. En el semisótano hay presencia de carbonatación en todos sus elementos, tanto estructurales como no estructurales, esto también se presenta en planta baja pero con menos intensidad.
2. El avance de la carbonatación dentro de los elementos estructurales se hace más profunda en el semisótano, siendo las columnas las más afectadas.

## **CAPITULO VI**

### **MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

#### **6.1. Manual de mantenimiento preventivo en las estructuras de concreto armado por corrosión o vida útil.**

En el ataque externo del concreto, el agente agresor penetra por su superficie y va destruyendo la masa en una acción lenta y persistente que se denomina corrosión del concreto o desagregación. Para proteger el material de esta amenaza, se suele acudir a dos recursos:

1. El principal, es elaborar concretos compactos, con poca propensión a ser penetrados.
2. Emplear cementos menos sensibles al ataque.

El primero es condicionante ya que ningún tipo de cemento solo, podrá responder por la calidad de la masa si el concreto no es suficientemente impenetrable. Con la tecnología actual del concreto, este se puede elaborar como para resistir prácticamente cualquier ambiente natural. El que se sigan produciendo daños, particularmente en obras en zonas marinas, que implican cuantiosas pérdidas, debe ser achacado a la ignorancia y, a veces, a la falta de escrúpulos.

La agresividad de algunos ambientes artificiales, principalmente industriales, puede llegar a ser tal que ningún tipo de concreto esté en condiciones de resistirla, por muy compacto que sea y por muy especial que

sea su cemento. En estos casos el concreto deberá ser protegido por algún tipo de barrera que lo aisle del medio. Salvo casos muy específicos, el ataque a la pasta y, en general los procesos de deterioro químico del concreto suelen ser de lento desarrollo. Esto y las complejidades, hacen que no sea fácil establecer responsabilidades.

Entre las posibles soluciones de corrosión o vida útil a establecer en este manual tenemos las siguientes:

#### **6.1.1. Corrosión del refuerzo metálico**

Con frecuencia, la aparición de los daños por corrosión suele producirse entre los dos y los siete años después de terminada la obra (Figura 48). Esta circunstancia contribuye a dificultar el establecimiento de responsabilidades. El cese del proceso de corrosión y la reparación de los daños son procedimientos generalmente caros y difíciles que, en algunas ocasiones, no compensa llevar a cabo y en otras no es posible realizar. En cambio la prevención, basada en construir conforme normas y especificaciones que tomen en cuenta las condiciones del caso, es siempre efectiva y fácil; aunque inicialmente pueda considerarse un poco más costosa, su precio compensa con creces los enormes prejuicios que evita.

Prácticamente para cualquier ambiente natural, es posible fabricar concreto que cumpla satisfactoriamente su desempeño. Solo en algunos raros ambientes industriales, el concreto reforzado no es capaz de resistir por sí mismo y requiere algún mecanismo de defensa.



Figura 48. Corrosión del refuerzo metálico. (Fundeso).

#### **6.1.1.1. Prevención de la corrosión del refuerzo metálico**

Hoy día, con los elementos, conocimientos y tecnología disponible, pueden fabricarse concretos de muy alta compacidad y baja retracción, colocables sin defectos incluso en condiciones difíciles. No todo concreto expuesto requerirá de calidad máxima sino, que cada caso requerirá la que sea apropiada y necesaria. En ambientes altamente agresivos, en los que el concreto no es capaz de resistir por si solo o para proteger obras donde se ha iniciado la corrosión, se acude a procedimientos especiales como los siguientes:

##### **6.1.1.1.1. Protección catódica:**

Se basa en establecer una zona anódica artificial fuera de la estructura debidamente protegida, para que el acero de refuerzo funcione como cátodo y no sufra oxidación. Se utilizan ánodos de un metal menos noble que el

acero (aluminio, zinc, magnesio, etc.) que se colocan adecuadamente espaciados sobre el concreto y se ponen en corto circuito con el refuerzo. Los ánodos sufrirán oxidación y por ello se denominan ánodos de sacrificio por lo que deben ser repuestos periódicamente.

Este sistema es clásico para la protección de los cascos de los buques, de las tuberías y similares. También se ha usado con éxito en estructuras de concreto reforzado donde sea factible económicamente.

Otros sistema de protección catódica es el de corriente impresa, en el cual un rectificador- transformador generalmente de grafito, se coloca sobre el concreto para producir una corriente continua de bajo voltaje, igual al producido por la pila electroquímica pero de signo contrario. De este modo se anula el potencial de corrosión.

#### **6.1.1.1.2. Resinas epóxicas:**

Son materiales que se aplican en estado fluido con mayor o menor consistencia y que luego endurecen adquiriendo altas resistencias químicas y mecánicas; presentan buena adherencia con el concreto y no tienen retracción.

Se utilizan para sellar la superficie de los elementos de concreto haciéndolos impermeables a los agentes agresivos. Se aplican en forma de capas más o menos gruesas. Su uso puede impedir el funcionamiento de pilas electroquímicas en los elementos que ya tengan corrosión, deteniendo su proceso. Se emplean con éxito en las zonas de salpique de pilotes para muelles y en estructuras costa afuera.

Son un excelente auxiliar de construcción en varios aspectos pero debe tenerse en cuenta que, por encima de los 100°C de temperatura, se degradan y pierden sus propiedades, por lo que el riesgo de incendio limita su uso.

#### **6.1.1.1.3. Impermeabilización:**

Además de las resinas epóxicas, se emplean otros muchos impermeabilizantes superficiales a fin de proteger el concreto, no solo de la corrosión sino del ataque directo de otros agresores externos. Se cuenta con productos que forman al contacto con la cal del concreto ciertas soluciones jabonosas superficiales que protegen el elemento y también con resinas acrílicas que se mezclan con el cemento y producen películas que no son barreras de vapor.

También están las siliconas, los asfaltos modificados y diferentes tipos de pintura. Igualmente se emplean los revestimientos cerámicos y las láminas de cobertura, principalmente plástico. Hay impermeabilizantes integrales que se añaden sobre la preparación de la mezcla como los silicatos y la sílice activa que, al reaccionar con la cal del cemento, generan productos que sellan parcialmente los micro-poros del concreto. La acertada selección del producto más adecuado a cada circunstancia es una especialidad. [1]

#### **6.1.1.1.4. Recubrimiento o pintura del acero**

Por medio de este procedimiento de éxito relativo, se intenta recubrir el acero con una capa de otro material. Diversos materiales han sido probados, prevaleciendo dos: el zinc (galvanizado) y las resinas epóxicas.

En el galvanizado se recubre la barra con una capa de zinc, que es menos noble que el hierro y puede actuar como ánodo de sacrificio si se dan las condiciones adecuadas; pero una vez consumido el material del ánodo, la oxidación pasa al acero. Aunque hay opiniones contradictorias, la práctica señala que el galvanizado retarda el proceso pero que la corrosión del acero acaba produciéndose.

Para el recubrimiento con resinas epóxicas, estas deben ser empleadas en forma de polvo, el cual, en caliente, se adhiere electrostáticamente a la barra. Al inicio de su uso hubo bastante dificultad porque las cubiertas protectoras se deterioraban y rasgaban durante el manejo y doblado de las barras. Actualmente hay resinas y prácticas de aplicación que eliminan ese defecto aunque tanto el material como el proceso, son costosos.

#### **6.1.1.1.5. Inhibidores:**

Son productos químicos que, añadidos como aditivos a la mezcla de concreto, son capaces de evitar o de aminorar el proceso corrosivo del acero. Se han probado varios productos siendo los nitritos los que han alcanzado aceptación práctica aun limitada. [1]

#### **6.1.2. Daños por ataque directo al concreto**

Cuando el daño al concreto proviene de causas internas de cualquiera de sus tipos que afecta a toda la masa del material, no hay reparación posible. Ahora cuando se trata de deterioro por ataques externos, la reparación, aunque ni fácil ni barata, puede resultar efectiva y definitiva.

El procedimiento de reparación consiste en el siguiente:

- Limpiar de manera exhaustiva la parte deteriorada.
- Reponer el material faltante con la debida calidad, garantizando a su vez un buen enlace al material remanente.

#### **6.1.2.1. Prevención a daños por ataque directo al concreto.**

Un concreto será bueno si es durable. La durabilidad expresa la resistencia al medio ambiente. Por lo tanto se debe tomar en cuenta lo siguiente:

1. El ensayo de resistencia es el más importante de los aplicados al concreto y constituye la base para determinar la calidad del producto. Por lo general, una mezcla de resistencia elevada es un buen concreto.
2. La impermeabilidad, directamente relacionada con la durabilidad, se consigue con la compactación, relación agua/cemento adecuada y curado conveniente, según el lugar donde se encuentre la obra.
3. La prevención mediante la limitación del contenido máximo de cloruros expresados en ion cloro de posibles acciones corrosivas sobre las armaduras que pueden producir mermas en la sección de estas, fisuraciones y disminución de adherencia.
4. La cantidad máxima de cemento por metro cubico de concreto, se recomienda que no supere los 500kg. El peligro de emplear mezclas muy ricas en cemento, reside en lo fuertes valores que, en tales casos, pueden alcanzar la retracción y el calor de fraguado en las primeras edades.
5. La resistencia del concreto disminuye al aumentar la cantidad de agua. Los agregados se deben dosificar con el objeto de que su

granulometría de un volumen de huecos mínimo, con una superficie específica mínima.

### **6.1.3. Reparación de la corrosión al concreto y acero:**

Para la reparación del concreto armado que ha sufrido algún daño de origen químico ya sea, en la mezcla o en el acero de refuerzo, consiste esencialmente en la extracción de los materiales afectados y su sustitución por otros sanos, garantizando que los ya colocados sigan prestando su servicio al igual que los nuevos.

La reparación no es un proceso sencillo ni mucho menos económico, para que tenga éxito, esta debe ser planificada y efectuada muy cuidadosamente. A continuación se mostraran una serie de pasos a seguir para lograr un trabajo efectivo:

#### **6.1.3.1. Remoción del material dañado:**

El material dañado debe ser removido hasta llegar a las partes sanas. Las partes dañadas generalmente son fáciles de identificar, como por ejemplo en el acero la oxidación entre uno y otro es evidente y para el caso del concreto, la distinción puede basarse en una debilidad de material, por agrietamiento o cambio de color.

Para que el material de reposición quede bien sujeto al anterior, este debe contar con suficiente espesos. La cavidad de la abertura que deje la extracción del material dañado y parte del sano debe ser lo más profunda posible sin debilitar la pieza en su conjunto; para esto hay que afectar la totalidad del recubrimiento e inclusive pasar por debajo de los aceros de refuerzo para poder inspeccionarlos en su cara profunda.

Las superficies recién redescubiertas de fractura viva, deben ser cuidadosamente limpiadas de fragmentos y polvillos antes de aplicar cualquier resina epóxica. Incluso deben pasar por una inspección final donde se debe retirar todo el material suelto sano o cualquiera que se vea agrietado debido a que en la práctica se ha demostrado que cuando la nueva masa colocada se separa del remanente, la rotura no suele ser por la superficie de contacto o de adherencia entre ambas masas sino por zonas sanas contiguas a las de contacto. Una causa de ello puede ser la debilidad por fractura o las diferentes características térmicas y elásticas de los materiales involucrados en la reparación.

Para el refuerzo de acero se debe descubrir y limpiara hasta las zonas en las que se encuentre totalmente sano. Si la reparación es por carbonatación del concreto se debe eliminar toda la masa afectada y descubrir algo de parte sana para reponer todo ese material. [1]

#### **6.1.3.2. Limpieza del material**

Las superficies del acero parcialmente oxidado pueden ser limpiadas con cepillos de alambre. No es necesario utilizar productos químicos ni chorros de arena; a estas les pueden quedar partículas de oxido, siempre y cuando la nuevas capas protectoras de concreto sean densas e impermeables.

Las superficies de concreto recibir el nuevo material deben ser limpiadas con mucho cuidado, estas no deben contener, polvos, grasa o fragmentos desprendibles. El procedimiento más adecuado de limpieza es el de chorro de agua a presión precedido si es necesario, de chorro de arena a alta presión denominado "sandblast". También puede usarse, aunque con

menor frecuencia la limpieza con ácido clorhídrico (muriático) no muy concentrado, en cuyo caso es necesario aplicar cuidadosamente un lavado posterior con agua para eliminar los restos de cloruros. [1]

### **6.1.3.3. Material de reposición**

Este es un punto importante, en el que se debe tener sumo cuidado ya que existen distintos tipos de materiales disponibles pero a su vez estos pueden tener notables diferencias en la composición, viscosidad y apariencia con respecto al material antiguo y aun cuando sean del mismo tipo. A continuación se muestran los más empleados:

#### **6.1.3.3.1. Concretos y morteros de cemento**

Constituyen un material natural para reparaciones de elementos de concreto, son delicados para su colocación pero se han obtenido trabajos de buena calidad y durabilidad. Sus principales inconvenientes son la poca adherencia y retracción, aunque para mejorar la primera se recomienda usar como puente de unión entre el material viejo y el nuevo una pasta de cemento o una capa de mortero preparado con arena fina; también es posible emplear un material adherente.

En cuanto a la retracción esta tiende a agrietar el material y separarlo de sus bordes de contacto; este efecto puede disminuirse hasta ser aceptable, utilizando varios recursos conjunta o alternadamente:

Baja dosis de agua combinados con el agregado sin ultra-finos y con buena granulometría, baja dosis de cemento y en caso necesario el uso de aditivos reductores de agua.

- Buen curado que garantice la humedad sobre el parche de deposición por lo menos durante 14 días.
- Parche profundo o con bordes perpendiculares a la superficie, no en bisel.

Esta técnica de reposición no es la más económica ya que el mantenimiento que acarrea la encarece.

#### **6.1.3.3.2. Látex no emulsionable.**

Estos materiales suelen ser resinas de tipo acrílicas, vinílicas o similares, que se polimerizan bajo ciertas condiciones que las emulsionan en el seno de agua como un látex. Cuando se secan ya no vuelven a ser solubles en agua; de aquí el recomendarlas no emulsionables ya que las usadas anteriormente lo eran. Mezclando esta suspensión acuosa, más o menos diluida con cementos hidráulicos se obtiene productos con ventajas como; puentes de unión, recubrimiento o mortero, e incluso como concreto de relleno. Tienen buena adherencia a los materiales endurecidos o frescos y dan lugar a productos de baja retracción y características elásticas que hacen que no se desprendan los parches preparados con ellos. No constituyen barreras al vapor pero sellan bien las grietas pequeñas que son la principal causa de permeabilidad del concreto.

Todas estas características hacen que este producto se use exitosamente para las reparaciones pero, son costosos y si no se aplican detalladamente, pierden sus ventajas. [1]

#### **6.1.3.3.3. Morteros de expansión controlada:**

Son morteros que se venden secos con fórmulas ya preparadas, a los que solamente se les debe agregar agua y mezclarlo. Tienen una pequeña expansión en el momento del fraguado y presentan buena adherencia con el concreto endurecido, el cual debe estar limpio y saturado, pero sin humedad superficial. Su principal uso es para el relleno de huecos en piezas de concreto.

Desarrollan altas resistencias a corto plazo, pero son costosos y de aplicación delicada.

#### **6.1.3.3.4. Resinas epóxicas:**

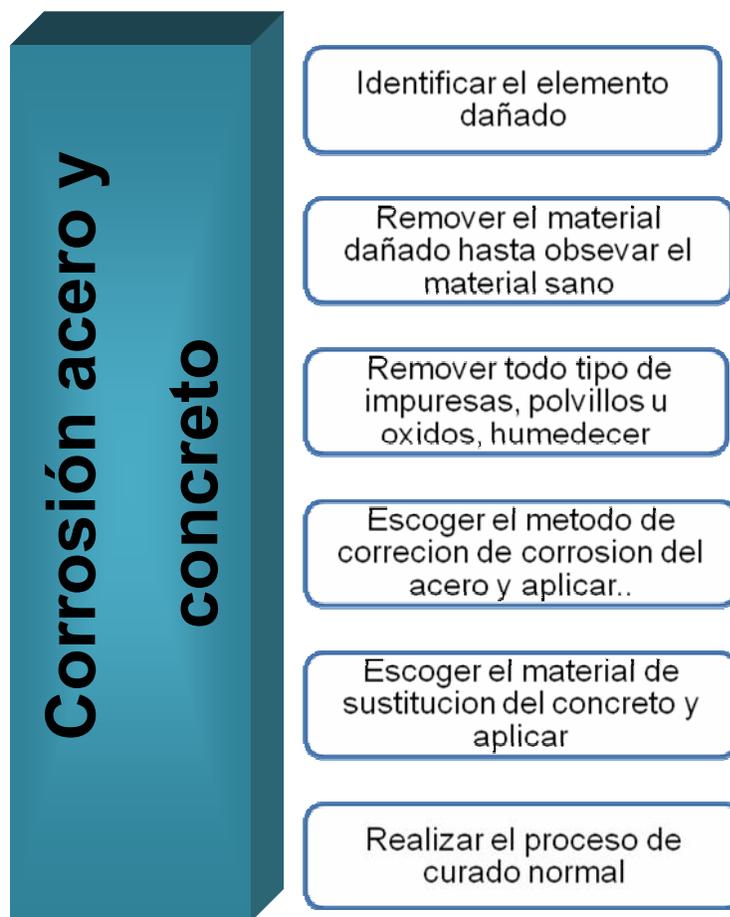
Son buenas para proteger el acero de refuerzo corroído y como capa de protección general del concreto. Como material de relleno en reparaciones su uso es menor, salvo a que se emplee con la doble función de relleno y protección.

En algunas circunstancias y con relación a la oxidación del acero en el concreto, las resinas epóxicas pueden no dar buenos resultados como es el caso; cuando se coloca un parche sobre una zona que fue anódica (porosa, permeable o húmeda) y por lo tanto se deteriora ameritando reparación.

El parche de resina impermeable convertirá la zona en catódica a expensas de las vecinas que pasaran a oxidarse, favoreciendo la progresión del daño.

Este fenómeno no solo ocurre con los parches epóxicos sino también con cualquier otro que sea impermeable. La impermeabilización para que sea efectiva debe ser completa y extensa. [1]

#### 6.1.4. Esquema del proceso reparación de la corrosión del acero y concreto



#### 6.1.5. Agrietamiento.

Hay diferentes tipos de grietas que se producen por distintos factores (Capítulo I).

#### **6.1.5.1. Prevención del agrietamiento.**

- Diseñar los miembros para soportar todas las cargas previstas.
- Prever las juntas apropiadas de contracción y aislamiento.
- En los trabajos de losas sobre el suelo, preparar una sub-base estable.
- Colocar y dar acabado al concreto de acuerdo a las prácticas recomendadas y establecidas.
- Proteger y curar el concreto de forma apropiada.

#### **6.1.5.2. Reparación del agrietamiento.**

Para garantizar una buena reparación de las grietas, previamente se deben conocer las causas del agrietamiento y, luego, escoger y aplicar cuidadosamente un procedimiento adecuado. De no cumplir esto, posiblemente se repita el agrietamiento. (Figura 49).

Antes de cualquier tratamiento a una grieta, ésta debe quedar bien limpia. Para ello se pueden emplear brochas pequeñas, cepillos de púas, escobillas, aire a compresión o chorro de arena. También se puede hacer por inyección de agua u otro material solvente neutro, que luego se deja secar, o se elimina con corrientes de aire.

- Las grietas se suelen reparar con las siguientes finalidades:
- Para restablecer la continuidad estructural del concreto.
- Para impermeabilizar, evitando el paso del agua.
- Para evitar el deterioro por el ataque medio ambiente.
- Por razones estéticas. [1]



Figura 49. Reparación del agrietamiento con inyecciones epóxicas. [23]

#### **6.1.5.2.1. Auto-sellado por percolación.**

Las grietas finas a través de las cuales percola el agua, si se estabilizan o están en vías de estabilizarse, con muy poco movimiento activo, se pueden auto-sellar por colmatación con carbono de calcio. Esta sal se forma a partir del hidróxido de calcio de la pasta de cemento, lixiviado por el agua y en combinación con el anhídrido carbónico de la atmósfera. Es el mismo mecanismo por el cual se generan estalactitas y estalagmitas en ambientes poco perturbados por corrientes de aire. En el caso del concreto, el producto suele tener color blanco neto. Se pueden apreciar, a veces, en techos o paredes de túneles o en la parte inferior de losas con humedad en la parte superior.

Grietas superficiales de hasta un milímetro de abertura es posible que se sellen totalmente, dependiendo de su grado de estabilidad y de su profundidad. El sello puede tomar tiempo en formarse, pero es confiable y duradero.

#### **6.1.5.2.2. Auto-sellado por cristalización.**

Grietas más finas que las de la carbonatación también pueden sellarse por crecimiento de cristales entre sus dos paredes, si el concreto se mantiene húmedo pero no filtra agua. Grietas con aberturas de 0,3mm o menos se auto-sellarán, pero siempre que no sean muy profundas o atraviesen la pieza de una cara a la opuesta o cuando el medio ambiente no sea agresivo.

#### **6.1.5.2.3. Inyección con resinas epóxicas.**

Estos productos tienen uso en varios tipos de reparaciones y se presentan con una amplia gama de formulaciones, algunas de ellas en forma de líquidos de relativa baja viscosidad (unos pocos centipoises), que pueden ser inyectados en las grietas. La manera de aplicar la resina no es difícil, pero tiene que ser cuidadosa. (Figura 50)

Las resinas epóxicas tienen alta adherencia al concreto, tanto seco como húmedo, y poseen en sí mismas elevadas capacidades de resistencia mecánica. Concretos inyectados con estos productos puede que lleguen a generar grietas nuevas, pero difícilmente la repetición de una que fuera sellada con epoxi. Las inyecciones son especialmente recomendables cuando se desea establecer la continuidad estructural del concreto, pero hay que tomar en cuenta ciertas restricciones:

- Producen sellos rígidos por lo que, si las grietas no están totalmente estabilizadas, el concreto se volverá a romper.

- Aun teniendo baja viscosidad, les resulta difícil penetrar por aberturas de grietas inferiores a unos 0,2mm. Grietas tan delgadas pueden auto sellarse si las condiciones les resultan favorables.
- Pueda ser que no rellenen totalmente el vacío de grietas, dejando pequeñas zonas vacías.
- Por su alta resistencia, no tienen problemas de funcionamiento resistente o estructural, pero quizá no eviten filtraciones.
- Son materiales sensibles al calor, perdiendo sus propiedades; en general esta afectación se inicia a partir de los 60 a 65°C. en caso de incendio su efectividad en la reparación puede anularse.
- Son productos relativamente costosos, tanto en sí mismo, como por los cuidados que requiere su aplicación. Pero ante ciertas características de los daños, son la única solución para salvar la integridad de la obra o de los elementos que la constituyen.



Figura 50. Inyección de resina epoxi fluidificada en el interior de la fisura. [24]

#### 6.1.5.2.4. Resinas acrílicas.

Son resinas que ya pasaron la fase monomérica y tienen un alto grado de polimerización. En el agua forman una dispersión coloidal y de ahí su denominación de látex. (Figura 51). Son altamente compatibles con el cemento y dan base a diversas formulaciones, con muy buena adherencia al concreto. Tienen variados usos en las reparaciones. Su principal utilidad se relaciona con la estética o con la protección de superficies de concreto. Su aplicación sobre las superficies de concreto agrietadas suele comenzar con un producto fluido, de baja viscosidad, el cual penetrará un cierto grado en las grietas, seguidas por la posterior aplicación de varias manos de productos más espesos.

Las formulaciones llevan, además de la resina, altas proporciones de cemento Portland, por lo cual el acabado debería tomar el color del concreto, cosa que casi siempre sucede. Cuando no es así, por razones de la constitución de la resina o de la composición del cemento, o por ambas cosas, la zona tratada se diferenciará de la no tratada, por lo que, a efecto de la estética, será aconsejable cubrir toda la superficie del elemento. A veces se puede producir un tono gris oscuro, casi negro, que es corregible con cemento blanco.



Figura 51. Trabajos de sellado y consolidación con presencia de agua mediante resina acrílica inyección. [25]

#### **6.1.5.2.5. Sellos Elasto-Plásticos.**

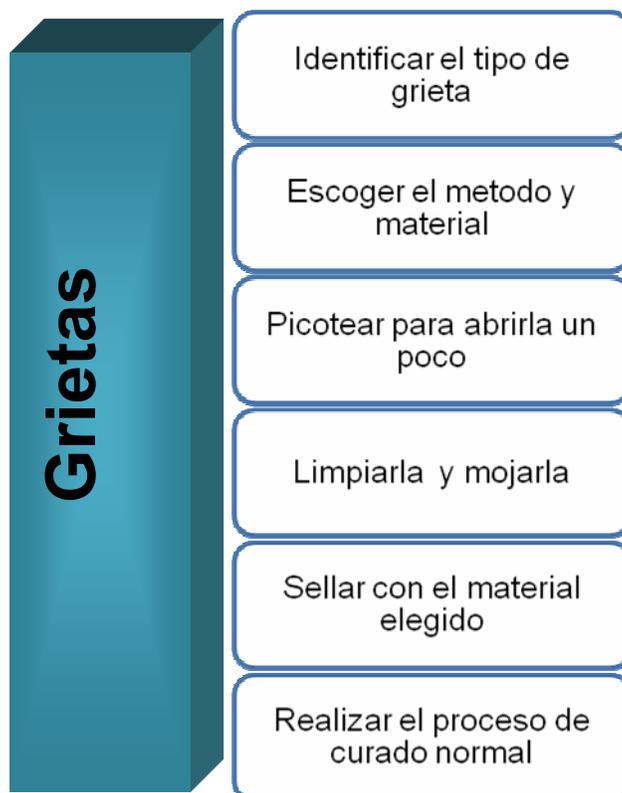
Se usan principalmente para hacer estancas grietas o juntas en movimientos y, en algunos casos, por razones estéticas.

Estos productos no se aplican directamente sino que se colocan dentro de un cajetín que se ha construido siguiendo la dirección de la grieta. El ancho y la profundidad de este cajetín dependen de las características elasto-plásticas y de adherencia del material, datos sobre los cuales informan los fabricantes y que deben ser tomados muy en cuenta. La sección del cajetín debe ser preferentemente rectangular, con bordes precisos. El mecanismo de funcionamiento del producto requiere que éste no se adhiera al fondo, pero si a las paredes del cajetín.

#### **6.1.5.2.6. Otros recubrimientos.**

Se utilizan otros muchos tipos de recubrimientos con fines estéticos y de protección. Algunas pinturas elastoméricas aceptan pequeños movimientos en las grietas, lo mismo que algunas láminas de plástico. Otras pinturas y recubrimientos con ciertas baldosas, solo funcionan bien si las grietas están totalmente estabilizadas. [1]

### 6.1.6. Esquema del proceso de reparación de grietas



### 6.1.7. Desagregaciones

#### 6.1.7.1. Prevención de las Desagregaciones

Las desagregaciones son los defectos patológicos más difíciles de curar, no siendo extraño que en muchas ocasiones no tengan solución y se deba, por tanto, proceder a la demolición del elemento o elementos atacados por la enfermedad.

En terrenos ricos en sales agresivas, hay que procurar eliminar aguas y humedades mediante el proyecto y ejecución de una red adecuada de drenes que mantengan seco el terreno en contacto con las cimentación.

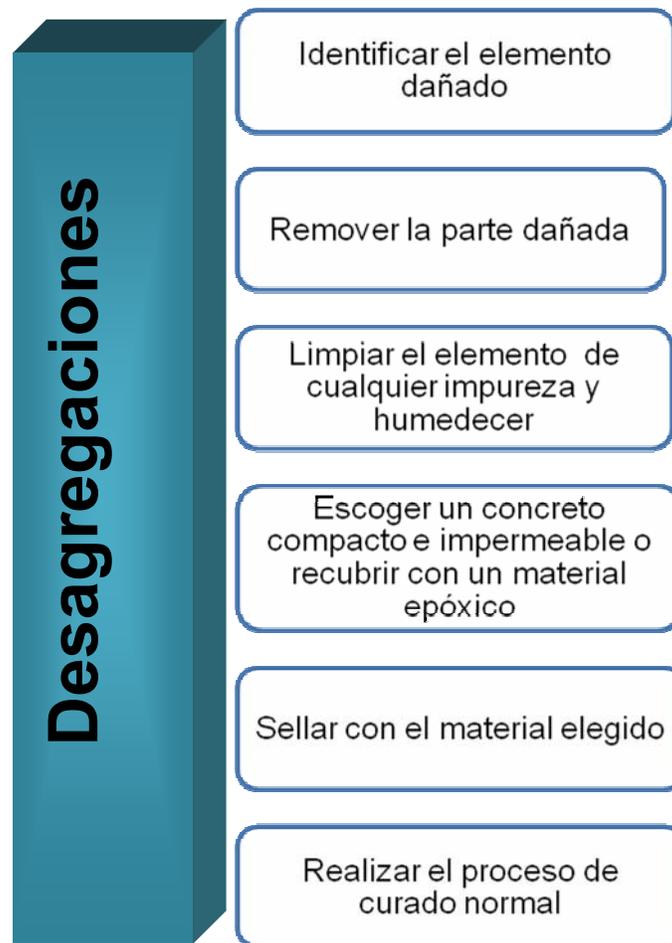
El concreto a emplear debe ser muy compacto a fin de que presente la menor superficie posible en contacto con el medio agresivo. En el concreto se emplearan áridos y cementos del tipo más conveniente al medio.

A veces el medio es tan corrosivo que no bastan estas precauciones, debiendo proceder además a revestir a los elementos estructurales en contacto con el mismo de barreras estancas adecuadas, tipo epoxi, poliuretano, siliconas, asfalto, etc.

#### **6.1.7.2. Reparación de las Desagregaciones**

Los métodos de reparación de las desagregaciones, cuando existe esperanza, pueden ser muy diferentes de acuerdo con las características del caso. La sustitución de la parte de concreto defectuoso por otro más adecuado colocado con los procedimientos normales mediante proyección , el empleo de enfoscados hechos con morteros de características indicadas para el medio, los revestimientos impermeabilizantes, etc., pueden ser una buena solución. [21]

### 6.1.8. Esquema de reparación de las desagregaciones



### 6.1.9. Eflorescencia

#### 6.1.9.1. Prevención de la eflorescencia.

El origen fundamental del problema es el agua y las sales, por lo que la prevención debe orientarse a la eliminación de ambas. (Figura 52)

- Impermeabilización de los muros frente al agua de lluvia.

- Aumentar la densidad del acabado externo utilizando mortero de cemento.
- Mejorar la adherencia entre el ladrillo y el mortero mediante la técnica del golpeo de la pieza recién colocada (tapping), perfecto llenado de las juntas, acabado cóncavo de la junta para evitar que entre el agua y humectación limitada del ladrillo antes de su colocación. [1]

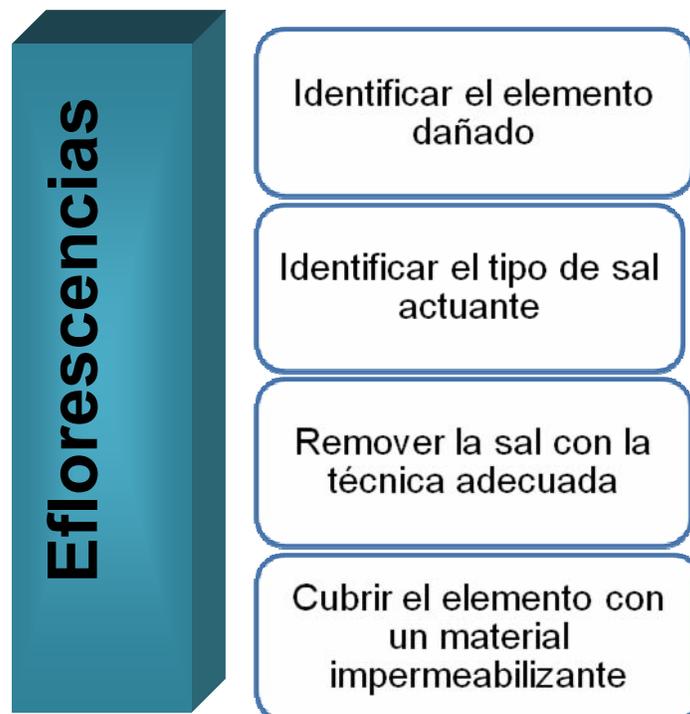


Figura 52. Ejemplo de eflorescencia. [26]

#### **6.1.9.2. Reparación de la eflorescencia.**

El tratamiento de reparación dependerá del tipo de sal actuante, por lo tanto debe conocerse previamente para facilitar su remoción. Los sulfatos solubles se eliminan fácilmente mediante el lavado con agua y el apoyo de soluciones jabonosas suaves. Para eliminar las sales de nitrato se requerirá cepillado con cepillo de alambre. Las eflorescencias de carbonato de calcio no soluble en agua, se eliminarán mediante el lavado de la superficie con agua que contenga un 10% de vinagre o de ácido clorhídrico en solución, seguida de un lavado abundante con agua potable.

### 6.1.10. Esquema del proceso de reparación de la eflorescencia



### 6.1.11. Reparación y refuerzo de estructuras

Inspeccionar, reparar y mantener estructuras resistentes son funciones específicas de los ingenieros estructurales. Muchos profesionales de la construcción se dedican en la práctica, a analizar los deterioros sufridos por múltiples causas en los edificios, para luego planificar y ejecutar las necesarias reparaciones, refuerzos y rehabilitación de las mismas.

Con el paso del tiempo, las estructuras por lo general muestran signos de desgaste y desintegración. También los edificios recién construidos pueden colapsar por acciones fortuitas no previstas o errores de diseño o ejecución.

Para suspender el proceso de deterioro, reducir su acción desintegrante y evitar la ruina de los edificios , se deben aplicar planes de mantenimiento eficientes y estrategias de reparación que permitan recuperar en forma adecuada la necesaria resistencia estructural, rigidez y seguridad que ayuden a prolongar la vida útil de servicio durante el tiempo supuesto para su normal funcionamiento.

La vida prevista de servicio de un edificio usual debe alcanzar unos 80 años o más, pero un mantenimiento irregular, un descuido en la detección de los daños incipientes y abandono en la inspección de sus instalaciones y equipos, reducen notablemente los lapsos mencionados. Como regla general, todo edificio debe mantenerse limpio, bien pintado, libre de escombros y malezas o basura, sin fisuras ni roturas, y lejos del contacto con sustancias agresivas.

Especial cuidado se debe prestar al mantenimiento de la estructura resistente, instalaciones de aire acondicionado, tuberías de suministro y desagües, sistemas de calefacción y todo tipo de equipos inherentes a una óptima condición de servicio.

Según el grado de deterioro que haya alcanzado una estructura resistente, los daños sufridos se pueden clasificar en:

- Daños estructurales reparables.
- Daños estructurales irreparables.

#### **6.1.11.1. Daños estructurales reparables**

En estos casos las reparaciones se llevan a cabo dependiendo de tipo de daño y la gravedad del deterioro, así como de las condiciones ambientales y las características propias de la estructura. Básicamente las reparaciones se clasifican en tres tipos:

- La reparación aislada de algunos miembros o conexiones.
- La posibilidad de incrementar las cargas sin variar las secciones.
- El refuerzo global o parcial de las estructuras.

Adicionalmente, toda construcción puede ser refaccionada, remodelada o restaurada. Las refacciones de un edificio permiten mejorar su aspecto arquitectónico o restituirlo a su estado original, y las remodelaciones son cambios introducidos en una construcción a fin de modificar su funcionalidad o destino de uso. En general, las restauraciones corresponden a la recuperación de los valores estéticos y artísticos involucrados, como ocurre con obras de arte pinturas, esculturas, ornamentos de fachadas, vitrales, etc. [6]

Los diferentes métodos de reparación de daños que se analizan y detallan a continuación son los siguientes:

#### **6.1.11.1.1. Reparación aislada de algunos miembros o conexiones:**

##### **6.1.11.1.1.1. Reparación superficial de la masa de concreto**

La reparación de las capas descaradas o desintegradas de las secciones de concreto armado puede realizarse en forma sencilla como se muestra en la figura 53. Se retira el material disgregado o exfoliado rasqueteando firmemente o limpiando la superficie con chorros de arena húmeda y luego lavando el área hasta dejar una superficie lisa, limpia y resistente dentro de la masa de concreto.

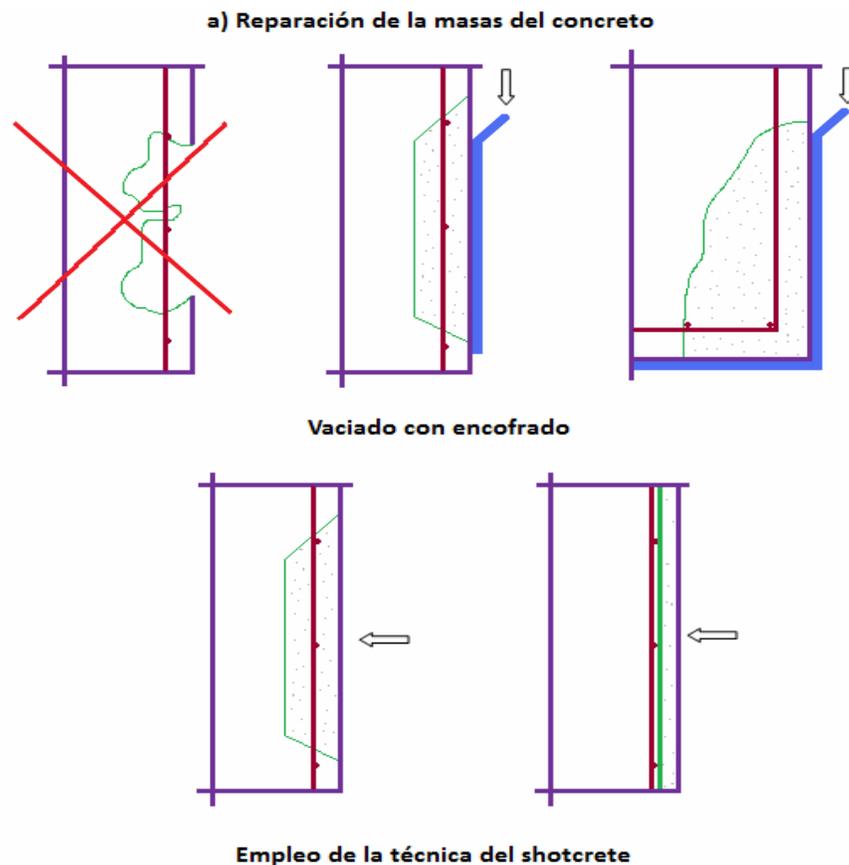
Se rellena a continuación el área con capas de mortero de cemento de buena calidad, de espesores no mayores a 2,5cm por capa o se vacía el concreto en encofrados previamente dispuestos como muestra el esquema a). Antes de colocar el material, es conveniente aplicar una capa de adhesivo epoxi sobre el área a reparar, para mejorar la unión. También se pueden usar morteros epoxi de baja retracción, aplicados con la técnica del shotcrete. Este tipo de mortero consiste en un líquido epoxi compuesto, con arena y otros agregados.

Cuando la desintegración es más profunda, o existe avanzada corrosión en las barras, se las debe reemplazar en la longitud deteriorada por otras en buen estado, colocándolas con suficiente solape y atándolas con alambres, o soldando los extremos a las barras existentes. Luego se rellenan los huecos como se indica en el esquema b) y en forma detallada precedentemente. Durante este proceso, es posible que se necesite apuntalamiento.

Las fisuras anchas y profundas, debidas a cargas excesivas o insuficiente refuerzo, deben ser taponadas con mortero epoxi y luego inyectadas a presión con una emulsión de mortero epoxi de baja viscosidad a

través de huecos taladrados diagonalmente a su alrededor como se muestra en la figura 54 b). Luego la reparación debe ser controlada con técnicas de ultrasonido o extracción de núcleos taladrados.

Este tipo de reparación con inyecciones adicionales en las fisuras incrementa notablemente la durabilidad de la misma, y en consecuencia, la vida útil en servicio de la estructura. Las inyecciones en todos los casos deben realizarse con presión controlada, asegurando una buena penetración de la emulsión. [6]



b) Reemplazo de las barras de refuerzo con corrosión

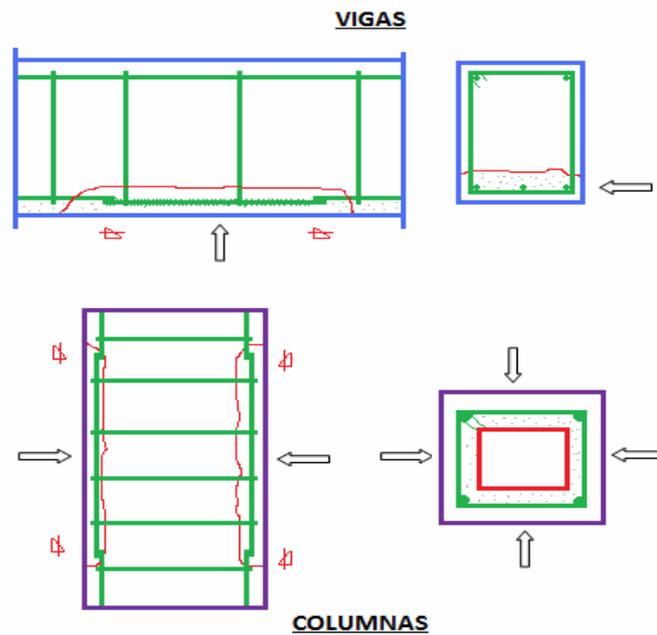


Figura 53. Reparación de la masa de concreto y reemplazo de las barras de refuerzo con corrosión. [6]

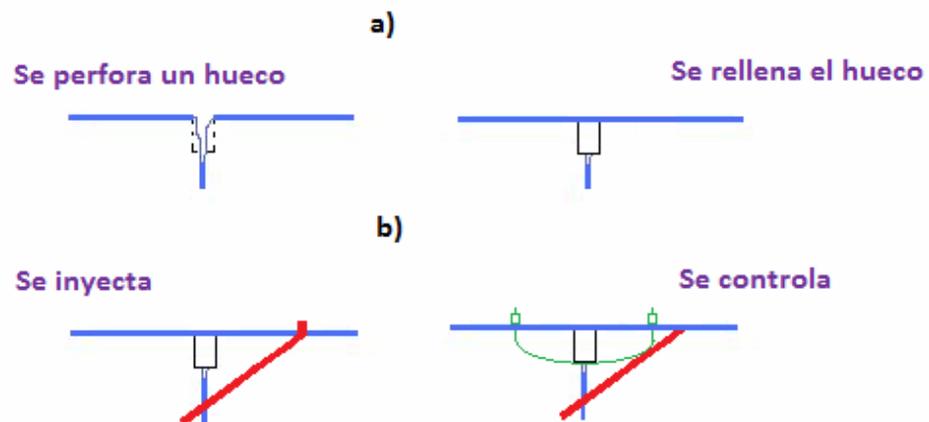


Figura 54. Reparación de fisuras mediante relleno e inyecciones. [6]

#### **6.1.11.1.2. Refuerzo de las estructuras.**

Reforzar una estructura puede resultar una operación compleja. Si solo se incrementa la resistencia de una parte de la estructura, se debe asegurar que el resto del sistema sea capaz de soportar las nuevas solicitaciones que se impondrán al aplicar cargas de mayor magnitud.

En general, el criterio de reforzar una estructura debe involucrar solo un leve aumento del peso propio, de modo que quede en condiciones de resistir una carga viva considerable. Existen diferentes estrategias para reforzar una estructura de acero o concreto armado, pero se debe respetar en todos los casos que los efectos de las nuevas acciones no sobrepasen los valores de diseño para la estructura reforzada.

Se detallan a continuación algunas posibilidades de reforzar estructuras débiles, menguadas en su capacidad portante, o dimensiones insuficientes para que puedan satisfactoriamente resistir las futuras nuevas cargas de servicio.

##### **6.1.11.1.2.1. Incremento de las secciones transversales.**

Un método frecuente de incrementar la resistencia de las estructuras de concreto armado es el de aumentar el área de las secciones transversales y de las barras de refuerzo. (Figura 55).

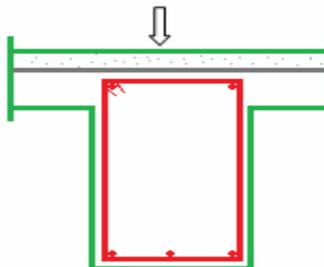
Por ejemplo, una viga como la del esquema a) puede ser reforzada aplicándole una capa de concreto en la zona comprimida, o en la zona traccionada, como se ve en el esquema b), agregando acero de refuerzo

adicional de las dos soluciones esta última es la más aconsejable, pues el incremento del peso propio es notablemente menor.

Para aumentar la resistencia al corte y evitar la falla por anclaje insuficiente o defectuoso de las barras, se puede dar un postensado adicional posterior a las vigas, cerca de los apoyos, como se indica en la figura 56, aplicando fuerzas verticales mediante planchas y pernos como se detalla en los esquemas a) a c). Las planchas se colocan junto a ambas caras horizontales de las vigas, y los pernos se ajustan con tuercas en los extremos.

En forma similar, se puede aumentar la sección transversal de las columnas como se ve en la figura 55. En el esquema c) las columnas han incrementado su área de concreto, con el agregado de nuevas barras longitudinales y ligaduras. El aumento de resistencia se logra colocando un tubo exterior de acero, rodeando la columna original, y luego vaciando concreto en el hueco. En todos los casos de refuerzo de secciones transversales aumentadas, se debe asegurar una perfecta adherencia entre el nuevo concreto y el existente, así como una perfecta continuidad estructural del acero de refuerzo. [6]

**a) Incremento de las secciones transversales de vigas**



**b) Barras de refuerzo adicionales con aumento de la sección de concreto**

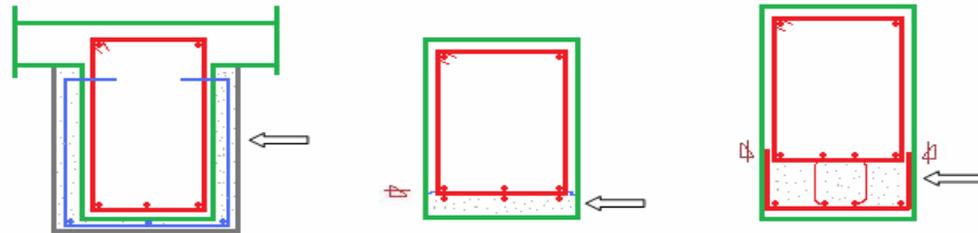
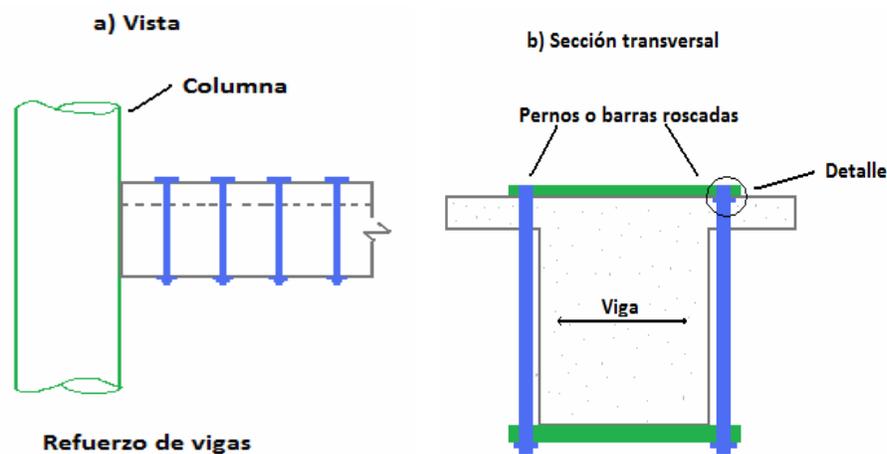


Figura 55. Incremento de las secciones transversales. [6]

Otra forma de reforzar columnas es darle confinamiento adicional mediante la colocación de anillos o barras zunchadas exteriores, como se muestra en la figura 56 d). Cada anillo tiene un anclaje lateral, desde donde se ejercen las fuerzas de postensado. El confinamiento también puede lograrse mediante la colocación de planchas bordeando todo el perímetro de la columna en la altura necesaria, fijas a la masa del concreto con pernos colocados en huecos perforados y luego rellenos de mortero epoxi de baja retracción, como se ve en la figura 57. El confinamiento se logra ajustando los pernos hasta el apriete final requerido. Ver esquema a). Las planchas también pueden colocarse con cordones laterales de soldadura. (Esquema b).



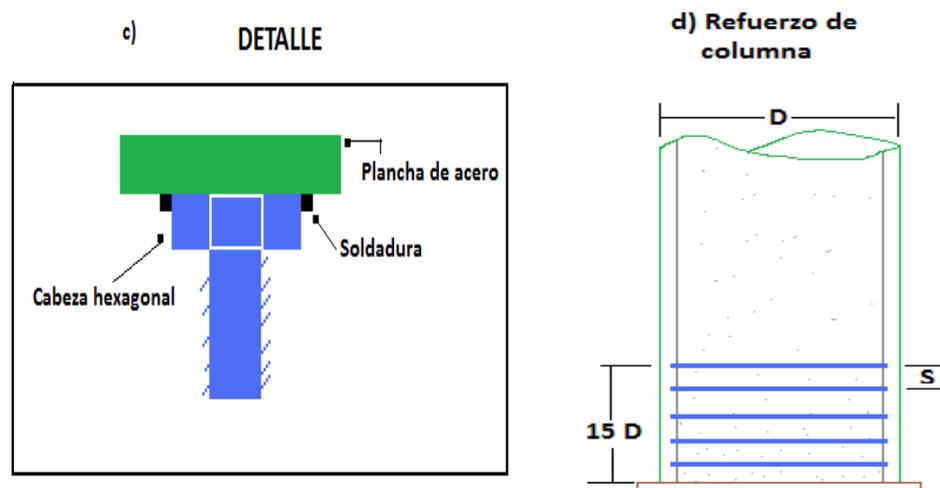


Figura 56 Refuerzo de vigas y columnas. [6]

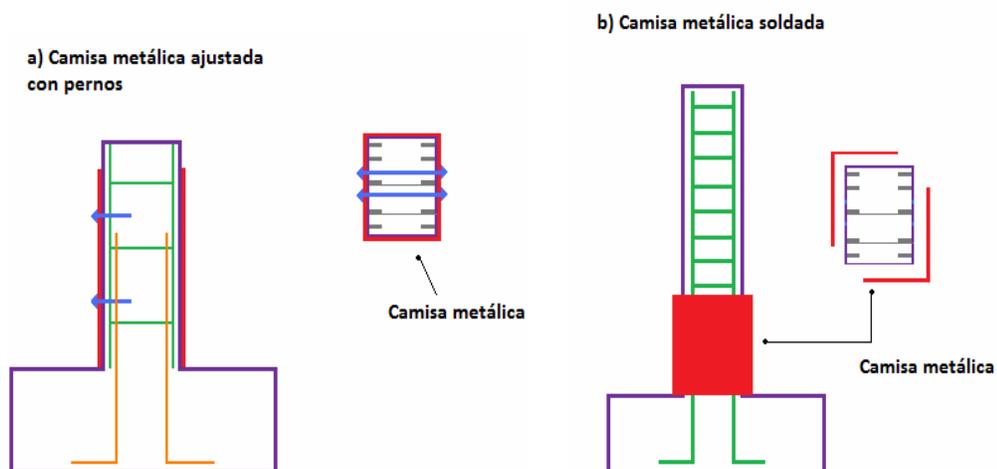


Figura 57. Refuerzo de columnas con camisa metálica ajustada con pernos y camisa soldada. [6]

En el caso de tanques de reserva o silos, el refuerzo se puede realizar con una nueva capa de concreto interior y armadura resistente adicional. el comportamiento estructural se puede asimismo mejorar variando la forma de

descarga de los materiales almacenados en los silos, aumentando la rugosidad de la pared interna y colocando anillos externos postensados que mejoran la resistencia a la tracción radial.

#### **6.1.11.1.2.2. Inyecciones en la masa del concreto.**

Los concretos porosos, con huecos o fisuras considerables externas o internas, pueden mejorar su textura, resistencia y estanqueidad mediante el empleo de inyecciones de lechadas. Entre ellas se pueden citar:

- Lechadas de resina epoxi
- Lechadas de resinas de poliuretano
- Lechadas de cemento de fina graduación con aditivos
- Lechadas de parafina

Las resinas epoxi se utilizan únicamente para defectos locales debido a la temperatura que alcanza mientras endurecen. Si bien aumenta la rigidez de la masa de concreto, solo pueden ser usadas en un medio seco. Entre las resinas epoxi están los silicatos, los silicones y los estearatos. Las resinas de poliuretano, por el contrario, solo otorgan aislación hidrófuga, pero pueden utilizarse en medios secos o húmedos.

Según las técnicas y el tipo de lechadas empleadas, estas cumplen la función de relleno de poros de gran rigidez o gran elasticidad. Sin embargo, en el caso de gran elasticidad, esta no alcanza usualmente las variaciones de tamaño de las fisuras por cambios climáticos, por lo cual su efecto puede resultar muy satisfactorio.

El tercer tipo de lechada consiste en la de cemento de fina graduación con aditivos, que permite obtener una mezcla coloidal de baja viscosidad, insensible a los cambios de humedad. La graduación fina del cemento es determinante, pues existe una relación directa entre el tamaño máximo de los granos y la penetrabilidad. Además, la baja viscosidad es fundamental pues permite una trabajabilidad a largo plazo (de 1 a 3 horas) mientras se rellenan todas las fisuras y huecos internos de la masa. Además beneficia la capacidad de dispersión y sedimentación de la lechada, lo cual se logra aumentando la relación agua/cemento y utilizando aditivos superplastificantes. Cuando es necesario, se usan también agentes aceleradores y estabilizantes.

Para lograr mejorar la textura, homogeneidad y estanqueidad de la masa de concreto, es necesario sin embargo que los poros y huecos internos estén interconectados, de modo que la lechada pueda penetrar en la totalidad de los vanos, formando cadenas. En un concreto normal, a los vanos corresponde un 3% del volumen.

Esta técnica es especialmente válida para mejorar la resistencia de edificios antiguos de concreto o puentes de principio de siglos.

Una de las ventajas que ofrece este método es que para inyectar la suspensión solo se necesitan bajas presiones, por lo cual un equipo sencillo de bombeo es suficiente; incluso se utilizan bombas manuales.

Las inyecciones de lechadas se usan asimismo muy frecuentemente en la reparación de los anclajes vivos de los cables postensados de puentes, donde el concreto ha sufrido desintegraciones. En estos casos se perforan huecos de 30mm de ancho y 2 a 3m de longitud, con taladros que penetran

dentro de los ductos que rodean a los cables tensados, y se inyecta la lechada. En algunos casos se han utilizado en operaciones de este tipo, hasta 500 litros de lechada, por cable.

En las secciones de concreto armado, una de las características de este sistema de relleno de poros con suspensiones, es que si en régimen de servicio se vuelven a formar nuevas fisuras, estas resultan de tamaño muy inferior a las que fueron tratadas previamente con inyecciones. Además, la corrosión de las barras del refuerzo se puede controlar mediante estas inyecciones, al evitar que la humedad alcance la superficie de las barras.

Otro material ampliamente usado para aplicar inyecciones en la masa del concreto es la parafina. Esta sustancia penetra fácilmente en los huecos de las paredes de mampostería de piedra o ladrillo y detiene los procesos de deterioro de los materiales, reduciendo el contenido de humedad y sellando los vanos. La parafina da especial protección a las piedras y materiales de construcción en general, estabilizándolos al penetrar profundamente en su medio y otorgándoles aislación hidrófuga.

La parafina no es un material nuevo. Ha sido usado junto a diferentes tipos de cera durante siglos. En la actualidad se la emplea calentándola suficientemente para poder rociarla con un spray, aplicarla con pincel o mediante inyecciones en la masa.

No tiene procesos químicos indeseables ni consecuencia ecológicas negativas, no presenta procesos de volatilización mientras llena y sella los poros y permite continuar el tratamiento mientras se completa todo el sellado de los huecos dentro de la masa del material tratado.

Obtener barreras efectivas contra la humedad es uno de los problemas más serios en la construcción. Son necesarias en especial en la base de los muros para asegurar su buen comportamiento futuro. Las paredes de piedra y mampostería deben también impedir la penetración del agua por capilaridad, sobre todo cuando la abertura de las fisuras es 0,001mm. En estos casos un sellador como la parafina detiene el proceso capilar, creando una barrera contra el paso del agua.

Para ello es necesario que la protección se extienda en todo el espesor de los muros, para lo cual se perforan huecos cada 10 o 12cm, de longitud compatible con el espesor de cada muro y se introducen las inyectoras en los huecos. La parafina puede ser inyectada con o sin presión. En el primer caso, penetra por capilaridad, pero en el segundo caso se acelera el proceso, en caso se acelera el proceso, en función de la magnitud de la presión ejercida.

Una de las ventajas de la parafina en relación a las emulsiones de resinas o cemento mencionadas previamente, es que en el caso de estas últimas, si la pared tiene los poros saturados de agua, el efecto hidrófugo del material disminuye. En el caso de la parafina, por el contrario, las paredes deben ser previamente calentadas antes de la inyección, a una temperatura superior a la de fusión de la parafina (unos 50°C), provocando la evaporación del agua de los poros, de modo que cuando se inyecta, la pared está totalmente seca. De esta manera, todas las fisuras y huecos internos quedan saturados de la parafina caliente. [6]

### 6.1.11.1.2.3. Recubrimiento con láminas de refuerzo.

El deterioro de las estructuras debido al paso del tiempo, el aumento imprevisto de las cargas actuantes, los cambios de uso accidentales o la insuficiente capacidad portante de sus miembros, exigen su rehabilitación y refuerzo. Para ello se vuelve imperiosa la investigación de nuevas técnicas de reparación de los sistemas estructurales, de modo de asegurar y prolongar su vida útil de servicio.

Entre los métodos de más avanzada tecnología está el de refuerzo externo de las secciones mediante envolturas de laminados o planchas de reducido espesor que se adhieren a las caras con pegamentos especialmente de gran resistencia. De esta forma, los miembros debilitados adquieren una mayor capacidad portante e incrementan su ductilidad. La aplicación de esta tecnología en ingeniería civil resulta una extensión de la utilizada en aeronáutica desde hace muchos años. Entre las láminas de refuerzo más comúnmente usadas se pueden mencionar:

- Las planchas de acero
  - Los laminados de plástico reforzados
  - Las camisas de concreto
- 

#### 6.1.11.1.2.3.1 Refuerzo con planchas de acero.

Es un eficaz método de refuerzo, donde la adherencia entre planchas y estructura se logra mediante pegas epoxi o pernos ahogados en la masa del concreto. (Figura 58). El esquema a) muestra la forma de reforzar una viga a

flexión, el b) de incrementar su resistencia a corte y flexión, y el c) corresponde al caso de columnas donde se ha aumentado su capacidad portante a flexo compresión.

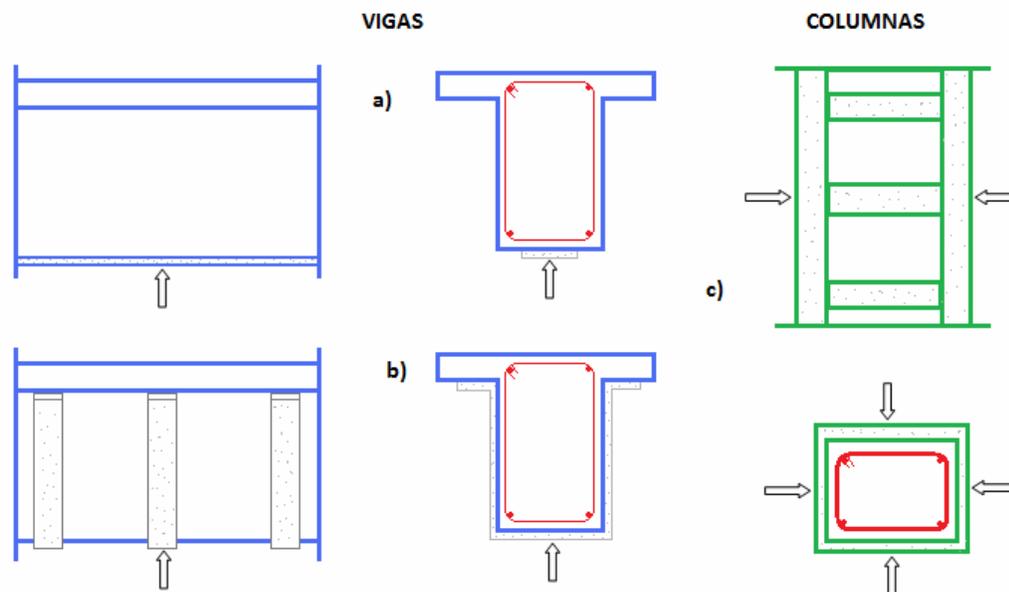


Figura 58. Refuerzos con planchas de acero y adhesivo. [6]

Las superficies donde se adhieren las planchas deben limpiarse cuidadosamente antes de su colocación. Se las debe tratar primero con chorros de arena húmeda, luego chorros de agua a presión y luego se las secará convenientemente con aspiradora (Figura 59). El concreto debe tener al menos 6 semanas luego de vaciado y una resistencia mínima a tracción de  $15 \text{ kg/cm}^2$ .



Figura 59. Preservación de una estructura de concreto mediante limpieza y lavado (mantenimiento preventivo). [5]

A continuación se aplica el adhesivo, luego se fijan en su posición las planchas de acero y se apuntalan mientras endurece el pegamento. Para finalizar, se da una mano de pintura anticorrosiva para proteger las planchas del medio ambiente agresivo.

Otra forma de fijar las planchas de acero a las caras de los miembros de concreto es utilizando pernos de anclaje como muestra la figura 60, ahogados en huecos perforados en la masa y luego rellenos con resina epoxi. Antes de adherir las planchas, se trata la superficie del concreto golpeándola con un martillo neumático liviano de punta aguda, que elimina las partículas sueltas y aumenta la rugosidad de las caras. Las planchas de acero son tratadas en la fábrica, recubriéndolas con un film de polietileno, el cual se retira al momento de colocarlas en la obra. Este film asegura que la superficie metálica no se daña durante el transporte o manipulación.

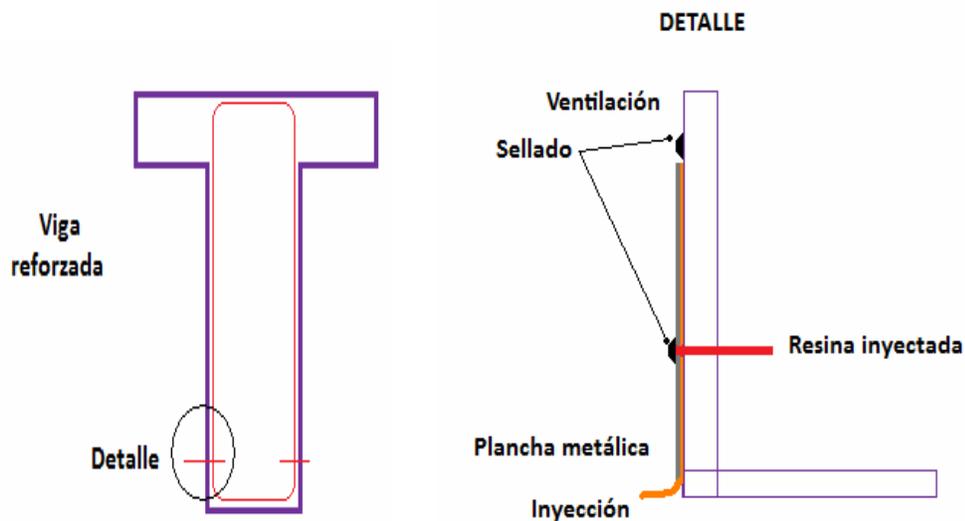


Figura 60. Técnica de inyección de resinas para fijar planchas metálicas. [6]

Luego de preparar las superficies, las planchas de acero se colocan en el lugar sin adhesivos utilizando pernos de alta resistencia que se instalan en huecos taladrados en el concreto. Es aconsejable emplear detectores de barras antes de la colocación. De modo de no perforar las barras de refuerzo. Luego de introducidos los pernos, se inyecta en los huecos una solución adhesiva epoxi de baja viscosidad en toda el área de contacto, utilizando una bomba hidráulica.

La inyección de la resina se realiza a través de un tubo inferior, mientras el aire contenido en el hueco escapa a través de tubos de ventilación superiores, convenientemente dispuestos. Tan pronto como la resina comienza a fluir por los tubos superiores sin burbujas de aire, el llenado ha concluido, se taponan los tubos de ventilación de modo de retener el líquido en su lugar hasta que endurezca. Es conveniente en este punto de aumentar algo la presión de las inyecciones epoxi, para rellenar todos los

huecos, grietas y cavidades el concreto, asegurando una buena unión. Todo el perímetro de las planchas y las cabezas de los pernos deben estar protegidos de un sellador, de modo de impedir que se derrame el pegamento epoxi. Las planchas de acero se mantienen en su lugar por doble acción: los pernos y el adhesivo.

Luego de endurecida la resina, se cortan los tubos de plástico y se da a todo el conjunto una capa de pinturas anticorrosivas. El espesor del pegamento debe ser lo más delgado posible, para asegurar una buena adherencia.

#### **6.1.11.1.2.3.2. Laminados con plásticos reforzados.**

Los laminados de plásticos reforzados son planchas flexibles de polímeros que contienen en su interior fibras de alta resistencia entrecruzadas o tejidas. Se obtienen en el mercado en rollos de ancho y longitud variable. (Figura 61).



Figura 61. Laminado reforzado y resultado del ensayo a tracción. [6]

Son compuestos muy resistentes, livianos, de excelente comportamiento a tracción y a fatiga, no se desintegran por acciones químicas agresivas y ofrecen propiedades no magnéticas y de baja conductividad. Entre las fibras más comunes están las de carbón, las de vidrio o los compuestos de aramide. Todos ellos permiten incrementar la resistencia de los miembros a los cuales se adhieren, tales como columnas, muros de concreto, paredes de mampostería, placas de entepiso, vigas y superestructuras de puentes.

Las ventajas de estos laminados se pueden enumerar como se indica a continuación:

- Aumento de la resistencia de los miembros.
- Escaso peso propio.
- Facilidad de colocación.
- Empleo de equipos de instalación livianos.
- Aplicación solo externa.
- Adaptación a cualquier forma geométrica.

Entre los inconvenientes se pueden mencionar la gran sensibilidad a las altas temperaturas de las resinas epoxi de pegamento y su baja resistencia al fuego. Además, la resistencia del adhesivo disminuye al derretirse y existe el peligro potencial de ignición por fuego. También el humo tóxico que se desprende de las resinas epoxi durante un incendio puede limitar su uso en el interior de los edificios.

Algunas fibras, sin embargo, como las del carbón, no se degradan bajo temperaturas moderadas y pueden soportar hasta 1.500°C si se utiliza una

matriz resistente al fuego, como por ejemplo la que contiene cemento de fina graduación como medio de vínculo. [6]

Los polímeros reforzados con fibras pueden utilizarse en tres tipos diferentes:

#### **6.1.11.1.2.3.2.1. Laminados en bandas o franjas delgadas.**

Se les utiliza especialmente para reforzar losas unidireccionales o cruzadas, y en vigas para incrementar la resistencia a flexión y corte.

Estas bandas se colocan en forma similar a las planchas de acero mencionadas previamente, aplicando sobre la superficie a reforzar, limpia y libre de polvo e impurezas, una fina capa de resinas adhesivas epoxi sobre la cual se presionan las franjas de laminados.

#### **6.1.11.1.2.3.2.2. Laminados de grandes dimensiones.**

Los laminados de grandes dimensiones permiten cubrir extensas áreas de muros, paredes de mampostería, columnas, vigas-pared, tanques de reserva y silos. Estos laminados contienen dos tipos de fibras en su matriz: las primarias, colocadas horizontalmente, de alta resistencia, y las, y las secundarias, que son fibras elásticas. La figura 62 muestra las fuerzas que solicitan un muro. Las fuerzas de dirección 1 son resistencias usualmente por la ductilidad propia del muro y soportadas por los elementos verticales de la estructura en sentido ortogonal. Las fuerzas laterales 2, de corte, son compartidas por el muro en su plano, y el laminado de refuerzo, que impide la fisuración prematura y cambia el mecanismo de agrietamiento, dispersando los esfuerzos cortantes en la superficie del muro, por efecto de las fibras primarias. Las fuerzas verticales 3 son resistidas por el muro y las

fibras secundarias del laminado, que incrementan la resistencia límite a compresión y la ductilidad del muro.

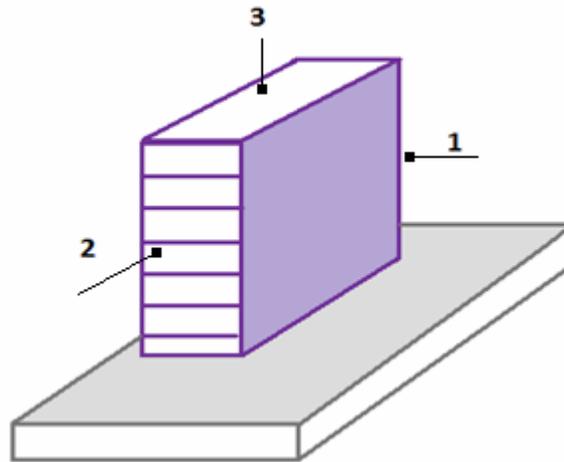


Figura 62. Fuerzas que solicitan al muro y el laminado con fibras resistentes. [6]

Las láminas de plástico con fibras de compuestos de poli-aramide son muy ventajosas porque no varían la rigidez de los miembros, como ocurre al revestirlos con planchas de acero, lo cual puede afectar el comportamiento de la estructura total durante un movimiento sísmico. Además pueden cortarse fácilmente en la obra, a la medida necesaria, y se pueden colocar en una sola de las caras del muro. En casos especiales de elementos decorativos, pueden obtenerse en plásticos transparente con fibras de vidrio, o con acabados de textura similar al concreto. En todos los casos, se pueden aplicar con pinturas o revestimientos retardadores de fuego.

Los laminados de grandes dimensiones se utilizan tanto en obras nuevas como en la reparación de miembros de concreto armado deteriorados por múltiples causas. En este último caso, es conveniente dar un tratamiento

posterior de inyecciones de mortero con base epoxi, de modo de restablecer los altos niveles de ductilidad perdidos.

Este tipo de laminado con fibras de carbón, vidrio o poli-aramide, ofrece las siguientes ventajas:

- Incrementa la ductilidad a flexión de los muros, mejorando el comportamiento sismo resistente.
- Reduce las deformaciones por corte, y la difusión de las fisuras a 45°.
- Aumenta la capacidad de carga a compresión, variando el mecanismo de fisuración horizontal.
- Mejora la resistencia al pandeo cuando se colocan las laminas en todas las caras.
- Beneficia el comportamiento de los miembros con armadura resistente débil o mal solapada.
- Incrementa la resistencia a la agresión de un medio ambiente desfavorable, como el agua de mar o las lluvias acidas.
- Suspende los procesos de corrosión en las barras del refuerzo al otorgar mayor estanqueidad a los miembros revestidos.
- Permite el postensado posterior en las áreas que lo requieran.
- En muros con deformaciones fuera del plano, (desplomes) se utilizan laminados con rellenos especiales, si bien en estos casos no se logra incrementar la ductilidad.

#### **6.1.11.1.2.4. Arriostramientos con diagonales cruzadas.**

Una forma práctica y eficiente de reforzar estructuras dañadas por sismos es colocarles diagonales cruzadas exteriores.

Los arriostramientos en X se diseñaron para resistir todas las cargas laterales de sismo. (Figura 63).

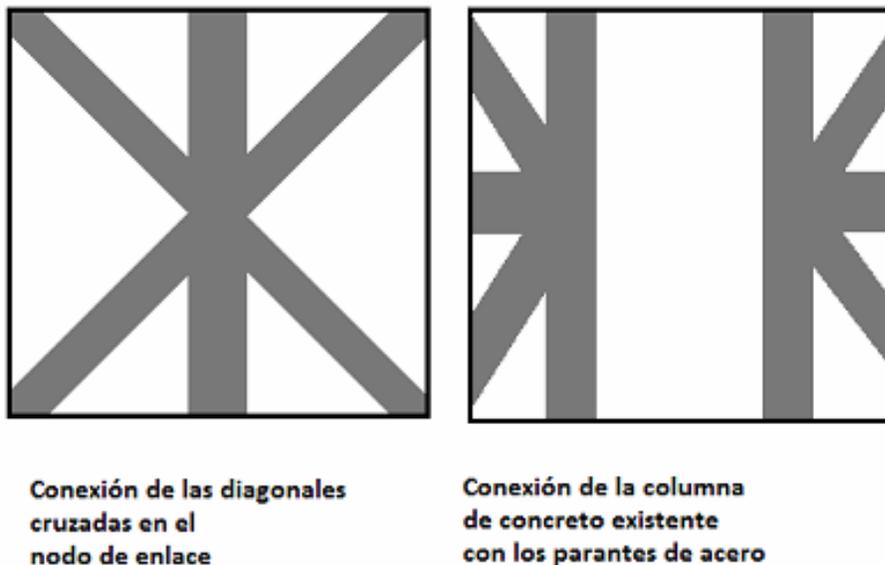


Figura 63. Arriostramiento con diagonales cruzadas. [6]

#### 6.1.11.1.2.5. Refuerzo con miembros resistentes adicionales.

Las estructuras débiles o las que han sufrido daños por movimientos sísmicos fuertes, pueden ser exitosamente reforzadas mediante el agregado de miembros resistentes adicionales, que permiten incrementar la capacidad portante del sistema aumentando la hiperestaticidad y la rigidez del mismo.

Este método es de fácil aplicación en estructuras de acero, las cuales tienen reserva potencial de resistencia para soportar la inversión de momentos flectores provocados por el agregado de columnas intermedias, como muestra la figura 64 y la variación en los esfuerzos cortantes.

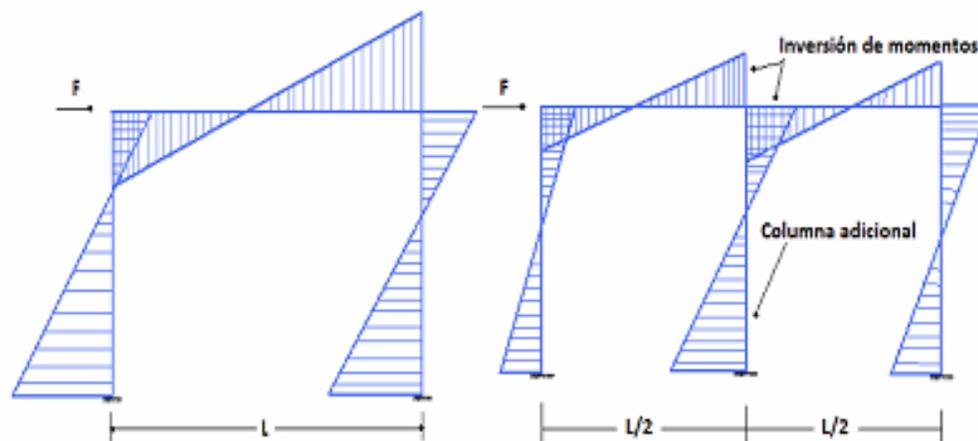


Figura 64. Pórtico reforzado con columna intermedia. [6]

En estructuras de concreto armado, el problema en general resulta más complejo, pues la variación de las solicitaciones por el agregado de nuevos miembros resistentes exige en la mayoría de los casos colocar barras adicionales para soportar las tracciones resultantes de la continuidad que origina la variación de las condiciones estáticas iniciales. Una solución en este caso suele ser el agregado de muros de concreto armado perimetrales o internos a la estructura.

#### 6.1.11.1.2.6. Refuerzo de las bases de fundación.

Todo edificio estable, resistente y funcional, debe sustentarse en bases solidas y suelos firmes y consolidados. Cuando las fundaciones sufren asentamientos, fisuración o disgregaciones, deben ser reforzadas y rehabilitadas hasta lograr la capacidad de carga exigida por el diseño. Se analizarán a continuación los siguientes casos:

### Caso 1: refuerzo de bases aisladas de concreto armado.

Las bases aisladas con escasa cuantía de acero pueden sufrir agrietamientos por flexión en las áreas cercanas a la unión con la columna por causa de un movimiento sísmico que origina la pérdida del anclaje del refuerzo longitudinal de la columna o pedestal y la falla prematura de los miembros. Efectos similares se pueden presentar en los cabezales de pilotes.

El refuerzo de las bases aisladas se logra mediante:

- El agregado de tope adicionales de concreto armado con anclajes perimetrales.
- La conexión con otras bases cercanas mediante bloques de concreto y barras de anclaje, con muros diafragma entre columnas.
- La colocación de micro-pilotes conectados a las bases. [6]

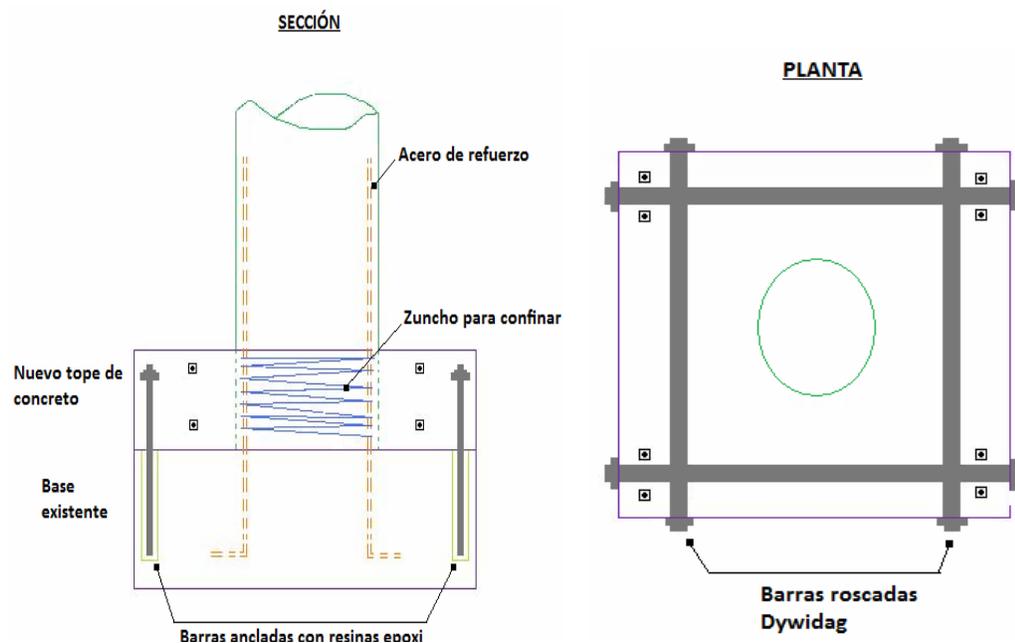


Figura 65. Bases aisladas reforzadas con tope de concreto. [6]

El refuerzo de las bases mediante el agregado de topes de concreto con nuevas barras o varillas roscadas de anclaje, se muestra en la figura 65. Las barras verticales aseguran una correcta conexión entre el concreto nuevo y el existente, y las horizontales refuerzan y confinan el nuevo tope de la fundación. Las barras verticales se anclan en huecos perforados en el concreto y luego rellenos con adhesivos epoxi. Para un mejor comportamiento estructural, es conveniente colocar un zuncho en la parte inferior de la columna, de modo de dar mayor confinamiento al conjunto.

Un sistema similar puede ser usado para agrandar las bases que resultan reducidas dimensiones para cargas superiores a las supuestas en el diseño. En estos casos, la calidad del concreto usado debe ser igual a la del existente, evitando discontinuidades geométricas o mecánicas, que pueden producir concentraciones de esfuerzos.

Las bases aisladas conectadas a otras bases vecinas mediante bloques de concreto y barras de conexión, con muros diafragma de concreto armado, se muestra en la figura 66. [6]

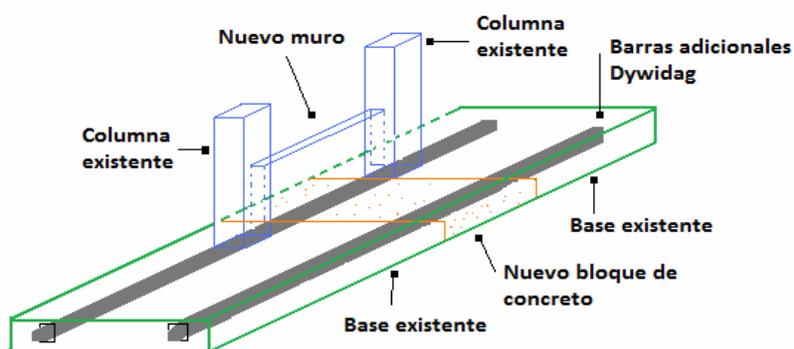


Figura 66. Las bases aisladas conectadas a otras bases vecinas mediante bloques de concreto. [6]

Estos muros diafragma de concreto armado, contruidos conectando las columnas y apoyados en bases reforzadas, incrementan la resistencia lateral de la estructura, al aumentar la rigidez del sistema. Este tipo de refuerzo de bases exige una revisión de su diseño original, pues se produce una redistribución de las fuerzas laterales que actúan sobre la estructura, al variar las rigideces relativas de los miembros.

La capacidad portante de las bases puede incrementarse mediante la colocación de micro-pilotes adicionales, como se ve en la figura 67, verticales o inclinados dependiendo de la dirección de las fuerzas que deben ser resistidas.

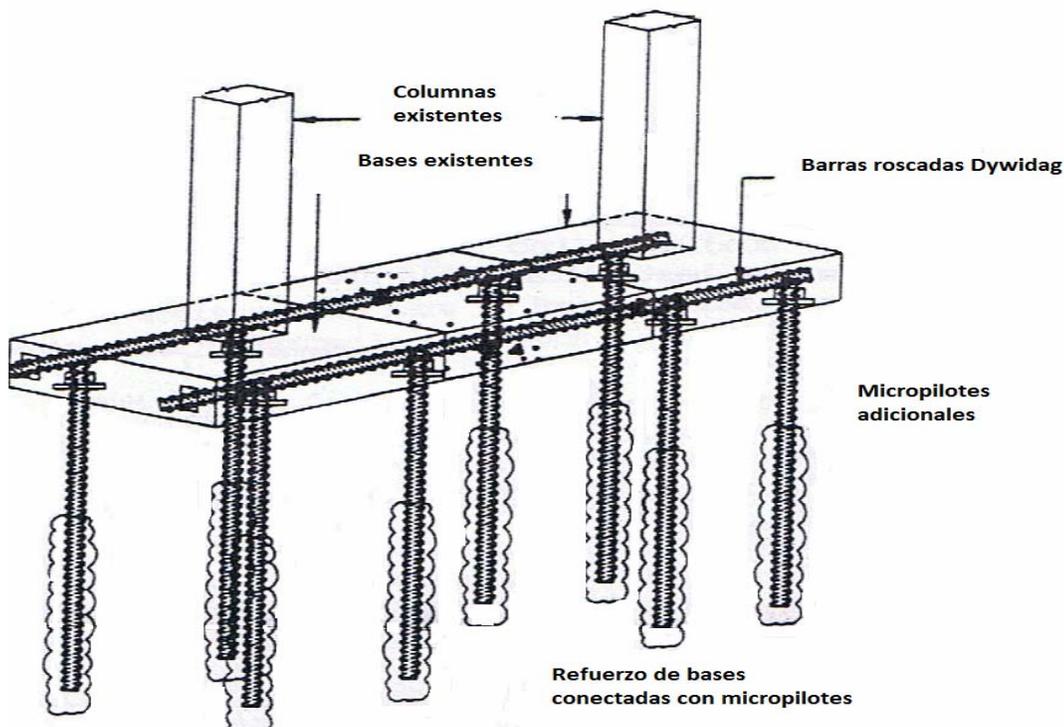


Figura 67. Refuerzo de bases conectadas con micro-pilotes. [6]

También los desplazamientos horizontales de los muros de contención de sótanos pueden prevenirse o minimizarse, colocando anclajes

adicionales en el terreno como muestra la figura 68 a). La profundidad de estos tirantes debe prolongarse más allá del plano de corte del suelo, de modo de permitir el anclaje en una masa estable del mismo. En la figura 68 b) se ilustra la forma de reforzar la fundación continua de un tanque de agua, con micro-pilotes perimetrales en todo el contorno, perforados en el terreno.

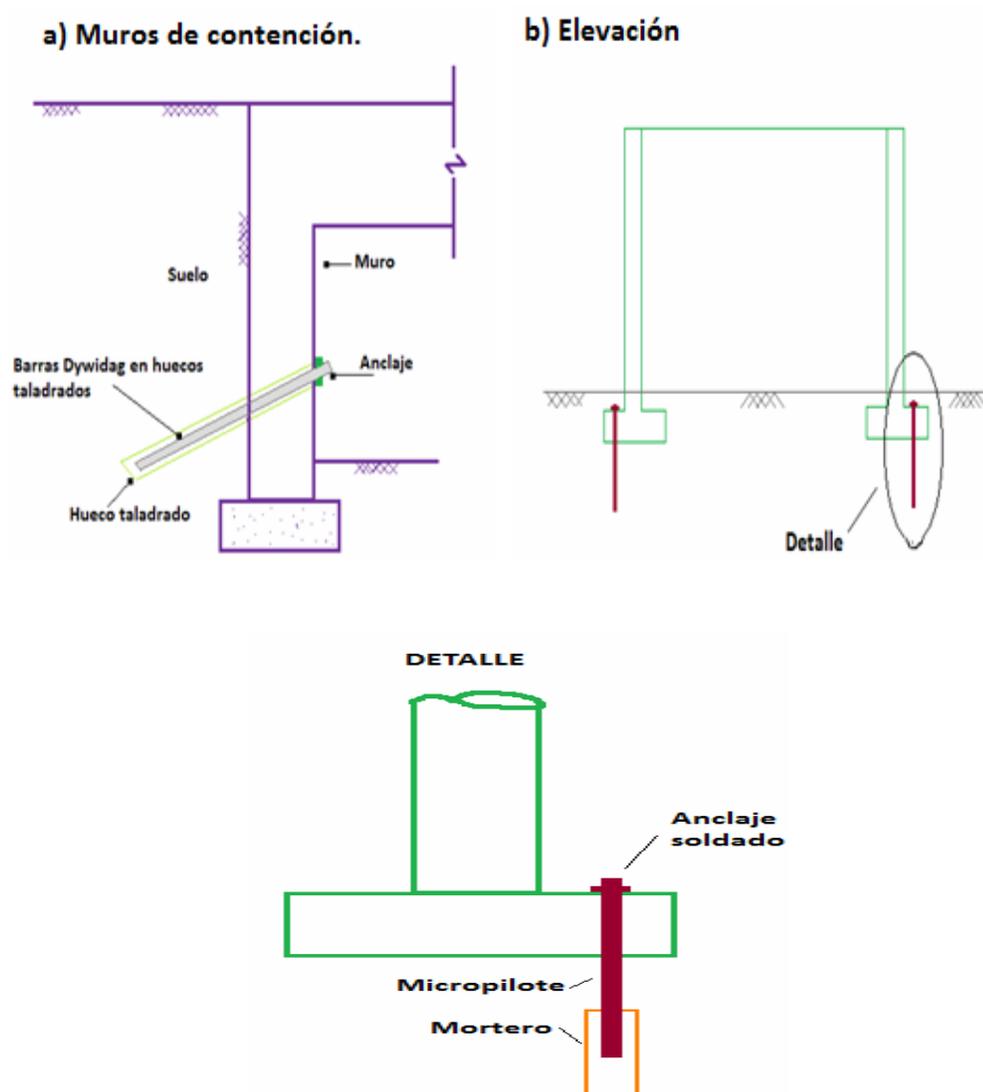


Figura 68. Micro-pilotes adicionales en fundaciones de tanques de reserva [6]

Los micro-pilotes adicionales en fundaciones de tanques de reserva impiden su movimiento lateral durante un sismo, evitando que se levanten las fundaciones y el tanque vuelque, derramando el agua contenida.

Caso 2: refuerzo de cimientos de paredes de mampostería.

Los muros de mampostería pueden reforzarse en sus cimientos instalando pilotes prefabricados de tramos cortos, utilizando gatos hidráulicos, como se muestra en la figura 69. El método consiste en ir hundiendo, uno por vez, los elementos del pilote, que se van encajando entre sí, sucesivamente, hasta alcanzar la profundidad necesaria. Son los pilotes tipo mega. [6]

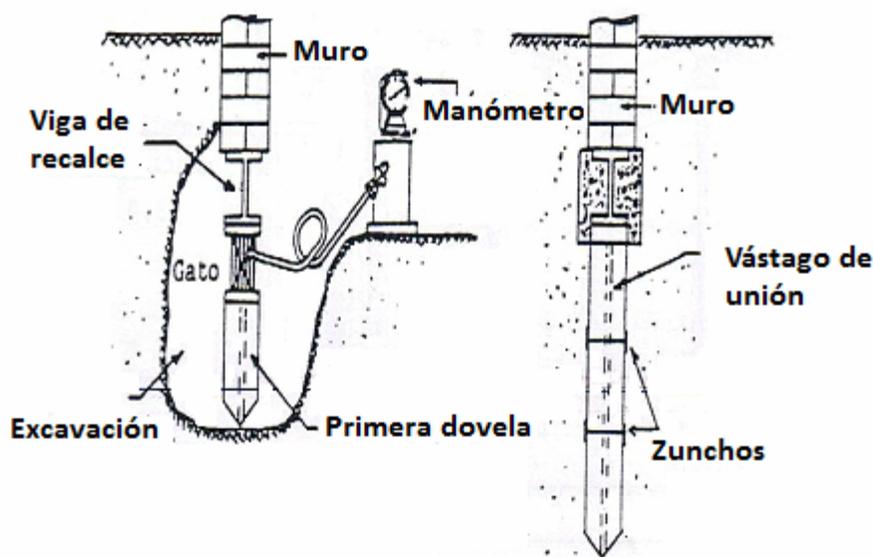


Figura 69. Pilotes méga. [6]

Este método es indicado para apuntalar los cimientos de estructuras que han sufrido asentamientos inadmisibles, mediante una operación de recalce rápida, sin trepidaciones y en un espacio reducido. Los tramos

prefabricados tienen sección cuadrada de 45cm de lado o circulares de 40cm de diámetro, con un vástago central que permite su ensambladura sucesiva.

El gato hidráulico se coloca bajo la viga de recalce que transmitirá su reacción al muro o al cimiento que se desea apuntalar. Se coloca el primer tramo y luego los sucesivos tramos hasta que se alcanza el estrato resistente del subsuelo. Luego el pilote se ajusta a la viga de recalce y se retira el gato.

Este sistema presenta muchas ventajas cuando los suelos son blandos y compresibles, y su aplicación es directa, sencilla y económica, utilizando solo un equipo reducido.

Las cargas aplicadas se van controlando mediante un manómetro conectado al gato, hasta lograr el rechazo deseado.

#### Caso 3: refuerzo de pilas de puentes en mampostería de piedra.

Las pilas de puentes antiguos en mampostería de piedra sufren con el paso de los años deslavado de los morteros, desgastes y erosiones producidos por corrientes marinas y de los ríos cuyas márgenes conectan.

#### **6.1.11.1.2.7. Aislación sísmica de cimientos y columnas**

Todos los edificios en zona sísmica ubicados sobre capas de sedimentos con profundidades entre 150 y 300m, son proclives a derrumbes provocados por las severas sacudidas. Una forma de evitarlo es permitir que la construcción “flote” en el suelo blando, permitiendo que el edificio permanezca inmóvil mientras la tierra tiembla debajo. Debe recordarse si

embargo, que la aislación sísmica es más efectiva en edificaciones de hasta 10 a 15 pisos.

Una de las formas posibles de aislar un edificio es colocar sus cimientos en un foso y apoyarlo sobre rodillos de deslizamiento en direcciones ortogonales, ubicando amortiguadores en el perímetro para minimizar el impacto del choque. (Figura 70). En este tipo de aislación se deben prever también las conexiones flexibles de las tuberías de suministro de agua, gas y electricidad, así como los desagües. En el esquema b) el edificio se sustenta sobre esferas metálicas.

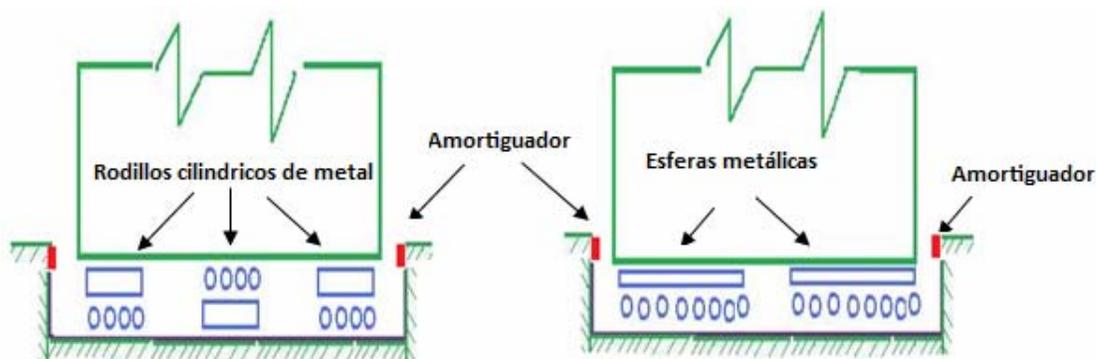


Figura 70. Aislación sísmica de edificios con soportes de deslizamiento. [6]

Otra forma de aislar sísmicamente una construcción es fundarla sobre soportes con altas propiedades amortiguantes. Estos amortiguadores son usualmente sistemas con núcleo de caucho o goma elástica, que pueden disminuir la aceleración sísmica límite hasta en un 70%.

Con ello se minimizan los desplazamientos laterales de la superestructura, y es posible por lo tanto disminuir en el diseño el número y la rigidez de los muros de corte o flexión en concreto armado. También se

reduce la respuesta torsional del conjunto. En toda estructura sísmicamente aislada, cuando tiembla el suelo, el movimiento se absorbe a nivel de la aislación. La aceleración de los pisos disminuye, y el edificio y sus ocupantes resultan seguros como muestra la figura 71.

En las estructuras convencionales, la aceleración del suelo se amplifica en los pisos superiores y se pueden producir severos daños no estructurales, como muestra el esquema a). Pero si el edificio se aísla sísmicamente, se asegura la estabilidad del mismo, se protege la vida de las personas, se previene la falla y se mantiene la funcionalidad. [6]

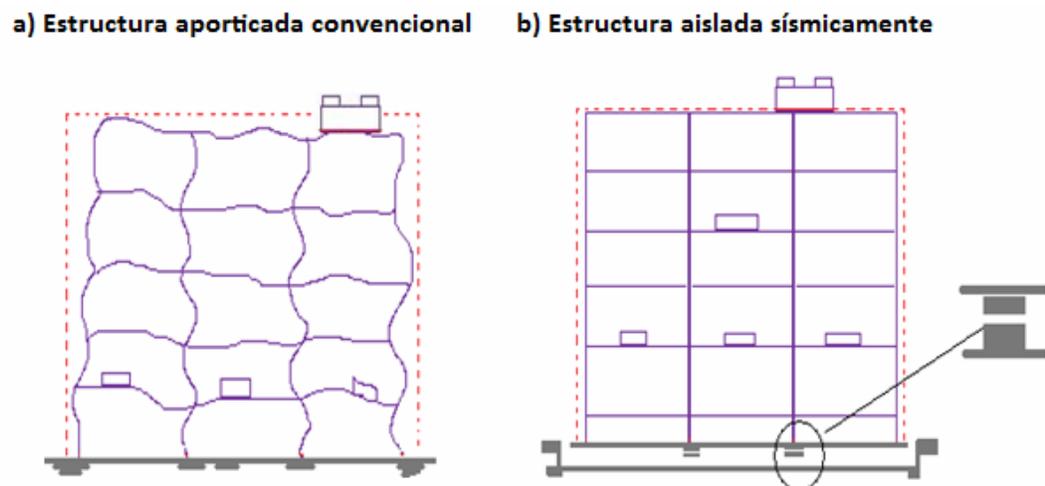


Figura 71. Aislación sísmica de cimientos y columnas. [6]

Los soportes de aislación sísmica, se utilizan también en los apoyos de puentes, y permiten movimientos en todas direcciones, evitando la acción de volcamiento y absorbiendo las fuerzas horizontales aplicadas.

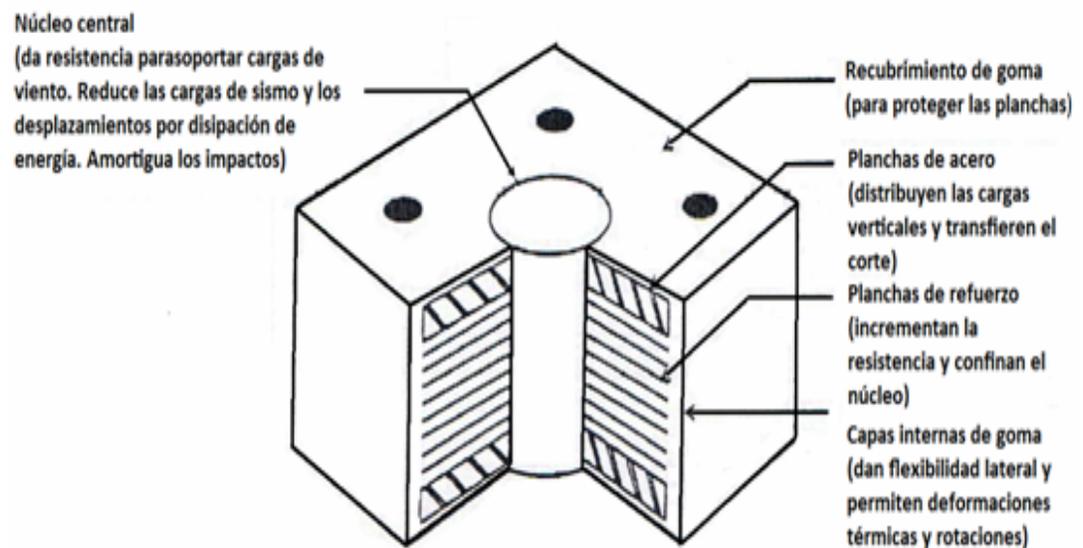


Figura 72. Detalle del apoyo de aislamiento dinámico. [6]

La figura 72 detalla la sección de unos de estos apoyos de aislamiento sísmica, con discos superpuestos de goma y acero. Estos soportes son rígidos en la dirección vertical y soportan una magnitud considerable de cargas. El sistema es multidireccional y bajo cargas de corta duración como las de viento, permanece elásticamente rígido, con deformaciones despreciables. Bajo cargas de mayor intensidad como las de sismo, el núcleo puede alcanzar el rango de cedencia, por lo cual el soporte se vuelve flexible horizontalmente y aísla la estructura que sustenta, del efecto destructivo de un movimiento súbito.

La figura 73 muestra la forma de colocación del soporte de aislamiento sísmica sobre una base existente, ampliada con una nueva fundación y conectada a otras bases de la estructura mediante vigas de riostra postensadas con barras roscadas. [6]

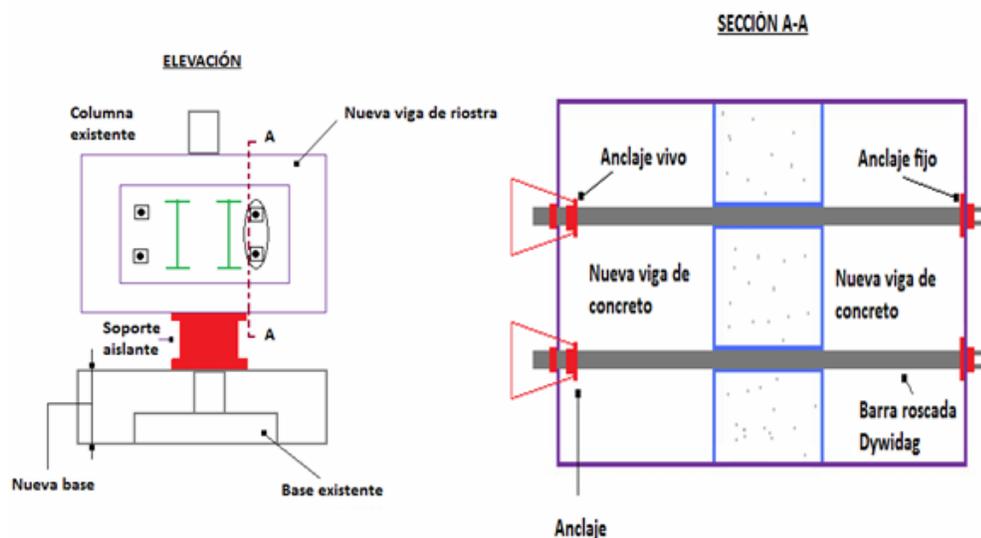


Figura 73. Reducción de cargas por aislación sísmica. [6]

Estos asientos aislados se utilizan también en los apoyos de vigas en puentes y viaducto, como se ve en la figura 74, reduciendo las cargas horizontales a nivel de las pilas y columnas y eliminando con ello las exigencias de ductilidad de las mismas. La capacidad de amortiguamiento de las cargas de estos soportes, se produce por disipación de energía y reduce la sensibilidad de la estructura a los movimientos sísmicos.

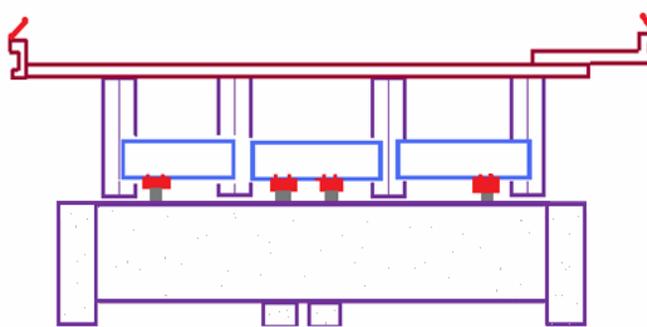


Figura 74. Sistema de aislación dinámica de puentes. [6]

El amortiguamiento se logra al ceder el núcleo del apoyo al aislante, bajo cargas laterales de impacto, el cual luego recristaliza a la temperatura ambiente y no se produce el endurecimiento del material. Se permite así resistir numerosos ciclos de cargas de sismo sin deterioro del apoyo ni de la estructura.

#### **6.1.11.2. Daños estructurales no reparables.**

En ciertos casos puede ocurrir que el daño ocasionado a una construcción sea grave, o que el costo de la reparación resulte excesivamente costoso.

Tal ocurre en edificios débiles bajo sismos fuertes, en edificios ubicados sobre suelos que deslizan, o en zonas con medio ambiente intensamente agresivo.

También puede suceder cuando se cometen errores inadmisibles de diseño o ejecución defectuosa, que dan lugar a derrumbes parciales o globales, o en el caso de sobrecargas fuertes o impactos no contemplados en el análisis, como explosiones con voraces incendios, caídas de aviones y ríos desbordados con corrientes que arrastran viviendas y vehículos.

Cuando existe la posibilidad de reparación de una estructura, se debe hacer un análisis de costos, y si ésta se vuelva impracticable, se procederá a:

- Apuntalar la estructura en forma preventiva, asegurando su estabilidad hasta que se realicen los trabajos de demolición, evitando daños a personas y bienes.

- Demoler en forma parcial las áreas francamente debilitadas.
- Demoler totalmente cuando la estructura sea irrecuperable en forma global.
- Remover los escombros y en los casos aconsejables, preparar el terreno para una nueva construcción. [6]

#### **6.1.12. Mejoramiento del suelo de fundación.**

Muchos edificios sufren deterioro por hallarse apoyados en suelos débiles, sueltos o expansivos, o con nivel freático superficial. Cuando un suelo carece de suficiente capacidad portante en sus estratos superficiales, pero los estratos profundos son resistentes, la solución más segura y efectiva consiste en recurrir a fundaciones indirectas, como los pilotes, que aseguran la estabilidad de los edificios en ellos apoyados. Sin embargo, cuando ni aun en los estratos profundos se alcanza la resistencia necesaria para asegurar un buen comportamiento estructural del edificio, se deben aplicar técnicas de mejoramiento de suelos.

Con ello se logra estabilizar las características resistentes y de homogeneidad de los suelos alterando sus propiedades e incrementando sus características mecánicas, la estabilidad de volumen, la capacidad de drenaje, etc.

Entre los suelos que deben ser mejorados se pueden mencionar:

- Los suelos de relleno.
- Los suelos colapsables.
- Los suelos expansivos.
- Los taludes inestables.

- Las bases y sub-bases de pavimentos.
- Las excavaciones donde se ha removido el suelo.
- Los suelos blandos.
- Los suelos con nivel freático superficial.
- Los suelos erosionables.
- Los suelos con desechos industriales, escorias y cenizas.
- Los suelos que sufren sucesivas heladas y deshielos.

Los métodos más usuales de mejoramiento de suelos son:

- El apisonado.
- El paso de rodillos.
- La precarga.
- La vibro-compactación superficial.
- El método terra-probe.
- El vibro-reemplazo.
- La vibro-flotación.
- Los pilotes de compactación.
- La consolidación dinámica.
- Los explosivos.
- El reemplazo del suelo.
- Las inyecciones de lechadas.
- La estabilización química.
- La mezcla con aditivos.
- La estabilización térmica.
- El drenaje del suelo.
- El uso de geotéxtiles.
- La estabilización eléctrica.

Los métodos mencionados de estabilización de suelos permiten su compactación o densificación.

Compactar un suelo es densificarlo artificialmente aumentando su peso específico y mejorando sus propiedades físicas. Los factores que influyen en la densidad obtenida por compactación son:

- El contenido de humedad del suelo.
- La naturaleza del suelo.
- La magnitud de la energía de compactación transmitida.

Entre las ventajas que se obtienen estabilizando un suelo se pueden mencionar:

- Incrementar la capacidad portante y su resistencia a corte.
- Reducir la compresibilidad y los asentamientos.
- Disminuir la permeabilidad.
- Reducir el índice de vacíos y el contenido de humedad.
- Reducir la licuefacción potencial.
- Minimizar la retracción y la expansión.
- Disminuir la susceptibilidad a las heladas.
- Incrementar la resistencia a la erosión.

Las características de los suelos se determinan usualmente mediante extracción de muestras y ensayos de laboratorio. Para la extracción de muestras se realizan perforaciones diferentes profundidades, de modo de alcanzar el estrato con las características físicas y mecánicas necesarias para apoyar las fundaciones del edificio que se diseña. También se pueden realizar pruebas de carga in situ, para determinar la capacidad portante, mediante aplicación de cargas estáticas o dinámicas en estratos superficiales o poco profundos.

### **6.1.13. Daños no estructurales**

Si bien los daños no estructurales de las construcciones no afectan en general su estabilidad, pueden causar graves inconvenientes para el correcto mantenimiento de los edificios, alterar su aspecto, deteriorar su estética y poner en peligro la seguridad y confort de rehabilitación de sus ocupantes. En caso de producirse importantes daños no estructurales, las reparaciones y rehabilitación de los elementos afectados pueden exigir grandes erogaciones y un tiempo considerable para su recuperación.

Los problemas que se presentan usualmente en materiales no estructurales son:

- Deterioro por el paso del tiempo y ataque de micro-organismos.
- Desgastes, erosiones, acción desintegrante del medio ambiente agresivo.
- Daños por acciones fortuitas, impactos, sismos, incendios o huracanes.

En general las construcciones antiguas y edificios o monumentos históricos sufren importantes daños estructurales y no estructurales por desgastes, erosiones y acción desintegrante del medio ambiente agresivo, mientras que las construcciones nuevas pueden ver alterados sus elementos no estructurales por acciones imprevistas, como sismos o impactos y causas fortuitas de incendios, inundaciones o vientos huracanados.

#### **6.1.13.1. Daños no estructurales por acciones fortuitas.**

Estos son los daños no estructurales por causas no previstas, como por ejemplo sismos, inundaciones, vientos huracanados o incendios, así como impactos o explosiones. Puede ocurrir que un edificio luego de una acción fortuita sufra muy leves daños estructurales, pero los no estructurales lo pueden dejar fuera de servicio por un tiempo prolongado. Tal el caso de hospitales que luego de un sismo han quedado en pie, pero sin los servicios básicos de agua, electricidad o gas, debido a daños en las tuberías de suministro, o han perdido valiosos instrumentos o equipos.

Con respecto a los efectos que suelen ocasionar los sismos, se pueden mencionar:

- Revestimientos fisurados y desprendidos
- Ascensores trabados y fuera de servicio
- Tuberías de agua dañadas con suspensión del suministro del líquido
- Vidrios rotos que caen desde los pisos altos
- Cielorrasos suspendidos que han distorsionado
- Puertas y ventanas que se traban
- Cortocircuitos y cortes de la energía eléctrica
- Daños en tuberías de gas con peligro de explosiones
- Caída de tanques de agua de reserva sobre-elevados. [6]

#### **6.1.14. Vida útil de las estructuras.**

Se entiende por vida útil de proyecto, el periodo de tiempo durante el cual una estructura mantiene sus características de resistencia, seguridad,

estabilidad, uso y apariencia en condiciones aceptables sin necesidad de requerir ningún tipo de intervención o mantenimiento no prevista en el diseño.

En el caso de estructuras deterioradas por corrosión de armaduras, pueden distinguirse por lo menos tres situaciones:

- 1) Periodo del tiempo que va a estar la despasivación de la armadura, normalmente denominado periodo iniciación. A este periodo de tiempo se lo puede asociar con la llamada vida útil del proyecto. Normalmente corresponde al periodo de tiempo necesario para que el frente de carbonatación o el frente de los cloruros ataque la armadura. El hecho de que la región carbonatada o con un cierto nivel de cloruros ataque la armadura o teóricamente la desactive, no significa que necesariamente a partir de ese momento habrá corrosión importante. Ese periodo de tiempo, por tanto, es periodo que debe adoptarse en el proyecto de la estructura a favor de la seguridad.
- 2) Periodo de tiempo que va desde el momento en que aparecen las manchas en la superficie del concreto o aparecen fisuras en el concreto de recubrimiento, o hasta cuando hay un desprendimiento del concreto de recubrimiento. A este periodo de tiempo se le asocia con la llamada vida útil de servicio o de utilización. Es muy variable de caso en caso pues en ciertos es inadmisibles que una estructura de concreto presente manchas de corrosión o fisuras. En otros casos quedan los pedazos de concreto, colocando en riesgo la integridad de las personas, pudiendo considerarse terminada la vida útil de servicio.
- 3) Periodo de tiempo que va hasta la ruptura o colapso parcial o total de la estructura. A este periodo de tiempo se le asocia con la llamada vida útil última o total- corresponde al periodo de tiempo en el que hay una reducción significativa de la sección resistente de la armadura o

una pérdida importante de adherencia entre la armadura y el concreto, acarreado un colapso parcial o total de la estructura.

En la figura 75, se representan gráficamente los conceptos anteriores, tomando como base las dos fases principales del proceso de deterioro del concreto reforzado (iniciación y propagación) desde el punto de vista de corrosión de las armaduras.

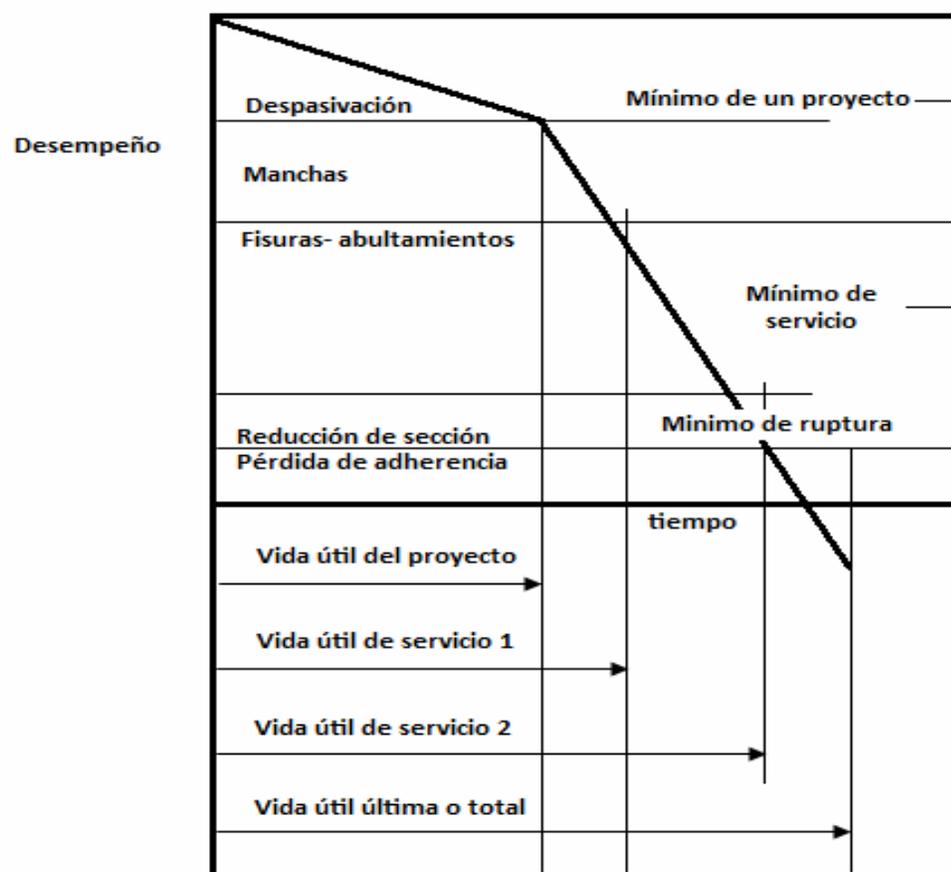


Figura 75. Conceptualización de la vida útil de las estructuras de concreto, tomando como referencia el fenómeno de la corrosión de la armadura. [10]

## CONCLUSIONES

1. Una de las principales causas del edificio Fundeso tiene un nivel de daño avanzado, es el abandono de la estructura la cual, al estar expuesta a la intemperie sin ningún tipo de cuidado durante todos estos años se fue deteriorando.
2. A través de la inspección y los ensayos realizados, se concluye que hubo defectos en la técnica de ejecución, elección de los materiales y colocación de los mismos durante la construcción del edificio.
3. Entendiendo el funcionamiento del proceso patológico, se puede decir que la solución no debe limitarse a una simple “reparación” que enmascare un síntoma. Reparar una patología en la estructura implica atajar las causas cuando sea posible, protegerla de ellas, reforzar cuando sea necesario, disminuir las solicitaciones en la zona comprometida mediante liberación de acciones, desvío de cargas o variaciones de diseño y en último término, reparar los daños con una adecuada elección y aplicación de las tecnologías y materiales existentes en el mercado. (Capítulo VI).

## RECOMENDACIONES

De acuerdo al trabajo realizado se recomienda:

1. Utilizar equipos de mayor precisión como ultrasonido para realizar pruebas no destructivas en el concreto
2. Se deben realizar una mayor extracción de núcleos para tener una muestra más representativa del concreto presente en la estructura.
3. La ejecución de calicatas para verificar las dimensiones, cotas de asientos y posibles lesiones en las fundaciones.
4. La ejecución de perforaciones exploratorias del subsuelo para obtener un perfil litológico donde se puedan indicar las características geotécnicas, la posible profundidad de los depósitos de suelos en el sector y la capacidad portante del mismo.
5. Realizar una nivelación horizontal de la estructura para descartar asientos en ella.
6. Se debe evaluar el estado de las armaduras por métodos de ánodos de sacrificio y corriente impresa que permitan distinguir y descartar la presencia de un nodo de corrosión.
7. Realizar una reevaluación detallada de la estructura a través de modelos sísmicos antes de ser habitada, que nos permitan conocer la confiabilidad real del sistema existente.

En el Apéndice E se pueden apreciar otras recomendaciones para prevenir daños al inicio de cualquier obra de concreto armado.

## BIBLIOGRAFIA

[1] PORRERO, C. (2009). **“Manual del concreto estructural”**. Editorial Sidetur, Caracas, Venezuela.

[2] IRMA O.; ANALÍA T.; BASILIO S.; MARTÍN O.; SABRINA B. Y NANCY M. (2008) **“Aumento de la vida útil de estructuras de hormigón armado corroídas, mediante realcalinización”**. Dpto. de Ingeniería Química. Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ingeniería, San Juan, Argentina.

Disponible en:

[http://www.ciiq.org/variop/peru\\_2005/Trabajos/IV/1/4.1.01.pdf](http://www.ciiq.org/variop/peru_2005/Trabajos/IV/1/4.1.01.pdf)

[3] NIEVES M.; NAVA V.; ROLÓN A.; GARZA F.; HERVERT Z.; TORRES A. Y BALTASAR Z. (2008) **“Influencia del medio ambiente en la durabilidad del concreto, planteamiento del proyecto Duracon”**. Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller” (FIANS), México. Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, Chile, Perú, Portugal, España, Bolivia, Uruguay, Paraguay y Venezuela. Disponible en:

[http://www.revistaciencia.uat.edu.mx/investigacion.php?subaction=show\\_full&id\\_fixed=1212606968&archive=&start\\_from=&ucat=3&](http://www.revistaciencia.uat.edu.mx/investigacion.php?subaction=show_full&id_fixed=1212606968&archive=&start_from=&ucat=3&)

[4] CARTILLA JOSÉ CONCRETO (2007). **“Manual de consejos prácticos sobre el concreto”**. Asociación colombiana de productores de concreto. (Asocreto).

[5] FAYAD, M. (2006). **“Evaluación y diagnóstico de las estructuras en concreto”**. Versión 3.0. Asociación colombiana de productores de concreto. (Asocreto).

[6] FRATELLI, M. (2003). **“Reparación de daños estructurales”**. Editorial Unive. Caracas Venezuela.

[7] ANNA, A. e IVANA, V. (2002). **“Métodos correctivos a los daños causados en las estructuras de hormigón armado”** Trabajo de Grado. Departamento de Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Y Ciencias Aplicadas. Universidad de Oriente. Núcleo Anzoátegui.

[8] ANGÉLICA, M.; TEZOZÓMOC P. Y MIGUEL M. (2001). **“El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado”**. Publicación Técnica No. 182. Sanfandila, Qro, 2001. Secretaría De Comunicaciones Y Transportes Instituto Mexicano Del Transporte (SCT).

[9] VALCÁRCEL, J. (2001) **“patología de estructuras de hormigón armado”**.

[10] MUÑOZ, H. (1998). **“Construcción de estructuras”**. Instituto del concreto. Bogotá D.C.

[11] FERNANDEZ, C. (1994). **“Patología y terapéutica del hormigón armado”**. Editorial Dossat, Madrid, España.

[12] Winter, G. (1977). **“Proyecto de estructuras de hormigón”**. Editorial Reverté, Encarnación, España.

[13] Norma Venezolana COVENIN MINDUR (1753-03),(2003). **“Proyecto y construcción de obras en concreto estructural”**. Fondonorma, Caracas.

[14] Norma Venezolana COVENIN MINDUR (1976-03),(2003). **“Concreto. Evaluación y métodos de ensayos”**. Fondonorma, Caracas.

[15] Norma venezolana COVENIN MINDUR (338-02),(2002). **“Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”**. Fondonorma, Caracas.

[16] Norma Venezolana COVENIN MINDUR (316-02),(2002). **“Barras y rollos de acero con resaltes para uso como refuerzo estructural”**. Fondonorma, Caracas.

[17] Norma Venezolana COVENIN (1756-01), (2001)**"Edificaciones sismorresistentes"**.

[18] Norma Venezolana COVENIN (2002-88), (1988)**"Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones"**.

[19] Norma Venezolana COVENIN MINDUR (345-80),(1980). **“Método para la extracción de probetas cilíndricas y viguetas de concreto endurecido”**. Fondonorma, Caracas.

[20] Norma Venezolana COVENIN MINDUR (1609-80),(1980). **“Método de ensayo para la determinación de dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecido”**. Fondonorma, Caracas.

[21] Norma Venezolana COVENIN MINDUR (1468-79),(1979). **“Método de ensayo para determinar el modulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto”**. Fondonorma, Caracas.

[22] Patología de la edificación. De Wikilibros, la colección de libros de texto de contenido libre. Disponible en:

[http://es.wikibooks.org/wiki/Patolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_edificaci%C3%B3n/Estructuras\\_de\\_hormig%C3%B3n/Lesiones](http://es.wikibooks.org/wiki/Patolog%C3%ADa_de_la_edificaci%C3%B3n/Estructuras_de_hormig%C3%B3n/Lesiones).

[23] Ruedas de medición rolatape La manera fácil de medir las posiciones de los electrodos. Disponible en:  
[http://images.google.co.ve/imgres?imgurl=http://www.giscogeo.com/bigpics/svyrltap.jpg&imgrefurl=http://www.giscogeo.com/Spages/Rescabl.html&usq=\\_dJgF5V5RVI2WnwAVeCeHoSmfhwg=&h=281&w=548&sz=15&hl=es&start=2&um=1&tbnid=GXvLyFQZzGBLyM:&tbnh=68&tbnw=133&prev=/images%3Fq%3Delectrodos%2Bde%2Bruedas%26hl%3Des%26sa%3DN%26um%3D1](http://images.google.co.ve/imgres?imgurl=http://www.giscogeo.com/bigpics/svyrltap.jpg&imgrefurl=http://www.giscogeo.com/Spages/Rescabl.html&usq=_dJgF5V5RVI2WnwAVeCeHoSmfhwg=&h=281&w=548&sz=15&hl=es&start=2&um=1&tbnid=GXvLyFQZzGBLyM:&tbnh=68&tbnw=133&prev=/images%3Fq%3Delectrodos%2Bde%2Bruedas%26hl%3Des%26sa%3DN%26um%3D1).

[24] Inyecciones epóxicas. Disponible en:

[inciarco.com/foros/showthread.php?t=3949](http://inciarco.com/foros/showthread.php?t=3949)

**[25]** Inyección de resina epoxi fluidificada en el interior de la fisura.

Disponible en:

[artedemadrid.wordpress.com/.../](http://artedemadrid.wordpress.com/.../)

**[26]** Trabajos de sellado y consolidación con presencia de agua mediante resina acrílica inyección. Disponible en:

[www.adcosiberica.com/.../injectieharsen](http://www.adcosiberica.com/.../injectieharsen)

**[27]** Eflorescencia. Disponible en:

[www.sherwin.com.ar/estructura.asp?intSec=28](http://www.sherwin.com.ar/estructura.asp?intSec=28)

**[28] Blogspot.** Disponible en:

[3.bp.blogspot.com/.../ensayo+de+compresion1.bmp](http://3.bp.blogspot.com/.../ensayo+de+compresion1.bmp)

**[29] Rincón del vago.** Disponible en:

<http://images.google.co.ve/imgres?imgurl=http://html.rincondelvago.com/0006349016.png&imgrefurl=http://html.rincondelvago.com/hormigon-autocompactable.html&usq=KvYOSK9yReamIfPYb5pO9nPoUbA=&h=478&w=919&sz=348&hl=es&start=2&sig2=8Zb9->

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	<b>“CAUSAS Y EFECTOS DE LOS DAÑOS ESTRUCTURALES DEL EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO FUNDESO, UBICADO EN LA AVENIDA 5 DE JULIO, PUERTO LA CRUZ, EDO. ANZOATEGUI”</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Serrano M, Johannys Del V.	CVLAC: 16.852.470 E MAIL: anniserrano@yahoo.es
Silva R, Elsa M.	CVLAC:16.068.113 E MAIL:natypochacca@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

**Concreto armado**

**Patología**

**Ensayo esclerométrico**

**Extracción Core-drill**

**FUNDESO**

**Fenosftaleína**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>ÀREA</b>	<b>SUBÀREA</b>
<b>Ingeniería y Ciencias Aplicadas</b>	<b>Civil</b>

**RESUMEN (ABSTRACT):**

**Ante el elevado grado de degradación que presentan las estructuras de concreto armado, no ha quedado otra solución que sustituir las viejas estructuras por otras nuevas. Es por ello que la inspección, mantenimiento periódico y sistemático de los edificios debe desarrollarse para garantizar sus óptimas condiciones.**

**En este proyecto se pretende evaluar las causas y efectos que originaron los daños estructurales del edificio Fundeso ubicado en Puerto La Cruz a través de ensayos destructivos, no destructivos, y por carbonatación. También se elaborará un manual preventivo de corrosión y vida útil para dar soluciones no solo a las distintas patologías que presente el edificio sino también a todas las estructuras de concreto armado. Este manual permitirá definir una mejor forma de diseñar obras en concreto durables y reparar adecuadamente las ya existentes que presentan este problema para así prestar los servicios para las cuales fueron creadas**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
<b>Blas Octavio Pinto</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS X</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Juan Félix Díaz</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU X</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Luigi Cotellesa</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU X</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b><u>2010</u></b>	<b><u>03</u></b>	<b><u>05</u></b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE: SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
<b>TESIS. Fundeso.doc</b>	<b>Application/msword</b>

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F  
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r  
s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.**

**ESPACIAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)**

**TEMPORAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)**

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

**Ingeniero Civil**

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

**Pre-Grado**

**ÁREA DE ESTUDIO:**

**Departamento de Ingeniería Civil.**

**INSTITUCIÓN:**

**Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS:**

**“Los Trabajos de Grado son de Exclusiva Propiedad de la Universidad de Oriente y Solo Podrán ser Utilizados para Otros Fines con el Consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, el Cual Participara al Consejo Universitario”.**

**Johannys, Del v. Serrano Millán**

**Elsa, M. Silva Rodríguez**

**AUTOR(ES)**

**Blas Octavio Pinto**

**TUTOR**

**Juan Félix Díaz**

**JURADO**

**Luiqi Cotellesa**

**JURADO**

**Yasser Saab**

**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**