

**METODOLOGIA DE EVALUACION EN PATOLOGIA
ESTRUCTURAL**

JUAN LEONARDO CARREÑO CARREÑO

RICARDO ANDRES SERRANO RODRIGUEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2005

**METODOLOGIA DE EVALUACION EN PATOLOGIA
ESTRUCTURAL**

**JUAN LEONARDO CARREÑO CARREÑO
RICARDO ANDRES SERRANO RODRIGUEZ**

**Proyecto de Grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
RICARDO ALFREDO CRUZ
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

A Dios, porque gracias a su infinita sabiduría he logrado encaminar esfuerzos y dedicaciones en la realización de este gran sueño.

A mi Madre, por ser ese ángel de luz colmada de bendiciones que irradia amor por doquier, por ser ese ejemplo de virtudes de la cual siempre me sentiré orgulloso; y por ser esa mujer maravillosa a la que no me alcanzará la vida para agradecerle todo lo que ha hecho por mi.

A Lorena, por todo lo que representó en mi vida, por tener esa alma hermosa y ese corazón gigante que siempre confió en mí, por haberle dado alas a mis sueños para alcanzar las estrellas, pero sobretodo porque sin quererlo cada día me hace mejor persona.

Al Doctor Ricardo Cruz, por su asesoría y sabios consejos para llevar a buen término la realización de ésta tesis.

A la UIS, por ofrecerme la oportunidad de cualificar el conocimiento y formar hombres de bien, capaces de comprometerse en la búsqueda de una sociedad mejor.

A mi compañero de proyecto de grado, porque desde un principio supe que era la persona ideal para compartir este proceso; tiene todas las capacidades para triunfar y ser un excelente profesional.

A mis amigos, mis más sinceros agradecimientos, porque con Edinson, Oscar, William y los demás, compartí los mejores instantes de mi vida universitaria.

A mi familia, por enseñarme el verdadero significado del calor de hogar y por su apoyo incondicional.

JUAN LEONARDO CARREÑO CARREÑO

A Dios, padre bueno que me da la fortaleza y me ha abierto las puertas necesarias para ver mis sueños hechos realidad.

A mi papá quien me acogió como el mejor de sus hijos y me enseñó los conocimientos mas valiosos para ser un hombre con valores para salir adelante en la vida por dura que esta sea.

A mi Nina por el gran corazón que tiene.....por sus consejos.... Y por el sacrificio que ha hecho para que sea un profesional.

A mi Abuela por enseñarme que la unión de la familia es la fortaleza para que todos tengamos un mejor mañana.

A mi Vieja por darme el regalo mas grande del mundo.....

A mis tíos (Elba, Azucena, Cesar) por su gran confianza en mis capacidad, haberme brindado el apoyo necesario para culminar mi carrera y cada uno por hacerme parte de su familia.

Al Doctor Ricardo Cruz una gratitud sincera por su gran colaboración y apoyo para llevar a buen termino este proyecto.

A mi compañero de proyecto de grado por su empeño y compañía a lo largo de noches y días para lograr este gran triunfo.

A la UIS por que sin su existencia seria imposible que gente sin recurso estudie y le brinde un mejor futuro a su familia y a su comunidad.

A los lectores de la tesis.

RICARDO ADRES SERRANO RODRIGUEZ

TABLA DE CONTENIDO

		Pág.
	INTRODUCCION	1
1	DEFINICIONES	5
2	PATOLOGÍA ESTRUCTURAL	11
2.1	JUSTIFICACION DE LA PATOLOGIA ESTRUCTURAL	11
2.1.1	OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN DE DAÑOS	12
2.1.2	RAZONES PARA LA REALIZACIÓN DE UN PROCESO DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL	13
2.1.3	DAÑOS EN EDIFICACIONES DEBIDAS A TERREMOTOS	14
2.2	PROCESO DE EVALUACIÓN DE DAÑOS	16
2.2.1	DIMENSIÓN CUANTITATIVA	16
2.2.2	DIMENSIÓN TEMPORAL	17
2.2.3	DIMENSIÓN ESPACIAL	18

2.3	CONDICIONES PREVIAS A TENER EN CUENTA	
	EN EL PROCESO DE PATOLOGIA ESTRUCTURAL	19
2.3.1	INFORMACIÓN HISTÓRICA DE LA EDIFICACIÓN	20
2.3.2	CAPACIDAD DE PREDICCIÓN	21
2.3.3	NECESIDAD DE CAPACITACIÓN	23
3	CLASES DE PATOLOGIAS	26
3.1	PATOLOGÍAS POR CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL	26
3.1.1	ARQUITECTÓNICA	27
3.1.2	INGENIERÍA	27
3.2	PATOLOGÍAS POR DISEÑO	28
3.2.1	DISEÑO PRECARIO	29
3.2.2	DEFORMACIONES O DERIVAS EXCESIVAS	29
3.2.3	DUCTILIDAD	30
3.3	PATOLOGÍAS POR CONSTRUCCIÓN	32
3.3.1	INFORMALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN	36

3.3.2	FALTA DE RECUBRIMIENTO	37
3.3.3	CIMENTOS	38
3.4	PATOLOGIAS POR RIGIDIZACIÓN, CAPACIDAD DE DEFORMACION, Y POR REFORZAMIENTO	39
3.4.1	PATOLOGÍA POR RIGIDIZACIÓN	40
3.4.2	PATOLOGÍA POR CAPACIDAD DE DEFORMACIÓN	41
3.4.3	PATOLOGÍAS POR REFORZAMIENTO	42
3.5	PATOLOGIAS POR CONFIGURACIÓN GEOMETRICA Y ESTRUCTURAL	43
3.5.1	CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	46
3.5.1.1	PROBLEMAS DE CONFIGURACIÓN EN PLANTA	47
3.5.1.2	LONGITUD	51
3.5.1.3	PROBLEMAS DE CONFIGURACIÓN EN ALTURA	51
3.5.1.4	ESCALONAMIENTOS	56
3.5.2	CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL	57

3.5.2.1	PATOLOGÍAS EN COLUMNAS	58
3.5.2.2	CONCENTRACIONES DE MASA	58
3.5.2.3	COLUMNAS DÉBILES	59
3.5.2.4	PISOS DÉBILES, SUAVES O BLANDOS	65
3.5.3	FALTA DE REDUNDANCIA	70
3.5.4	FLEXIBILIDAD Y CONEXIONES	70
3.5.5	TORSIÓN	78
3.6	PATOLOGIAS DE LOS COMPUESTOS DEL CONCRETO	82
3.6.1	PATOLOGÍA DEL CEMENTO	84
3.6.2	PATOLOGÍAS DE LOS AGREGADOS	85
3.6.3	PATOLOGÍA DEL AGUA	85
3.6.4	PATOLOGÍA DE LOS ADITIVOS	86
3.7	PATOLOGIA DEL CONCRETO ARMADO	87
3.7.1	PATOLOGÍAS POR FISURACIÓN DEL CONCRETO	88

3.7.1.1	CAUSAS QUE PROVOCAN LAS FISURAS	90
3.7.1.2	CLASIFICACIÓN DE LAS FISURAS	92
3.7.2	RESISTENCIA A LA DURABILIDAD	133
3.7.3	MECANISMOS DE DESCOMPOSICIÓN	137
3.7.4	COMPACIDAD	142
3.7.5	PROCESO DE CORROSIÓN	144
3.7.5.1	ATAQUES QUÍMICOS DE DIVERSOS MEDIOS	
	AGRESIVOS	145
3.7.5.2	CORROSION POR EL INGRESO DE HALÓGENOS	
	(CLORUROS)	147
3.7.5.3	MECANISMOS DE CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS	149
3.7.6	PATOLOGÍAS EN LOSAS	152
3.7.7	PATOLOGÍAS EN VIGAS DE AMARRE	153
3.8	PATOLOGIAS EN ELEMENTOS NO	
	ESTRUCTURALES	154

3.8.1	PATOLOGÍAS EN TECHOS O CUBIERTAS	154
3.8.2	PATOLOGÍA EN MUROS DE LADRILLOS O BLOQUE	156
3.8.3	PATOLOGÍA EN ESCALERAS	159
3.9	PATOLOGIAS POR FALLAS CIEGAS	160
3.9.1	FALLAS CIEGAS	161
3.9.2	MÉTODOS PARA DETECTAR FALLAS CIEGAS	162
3.10	PATOLOGIAS POR USO	168
3.10.1	DAÑOS DEPENDIENTES DE LAS CARGAS	169
3.10.2	FALLA DE CONFINAMIENTO	172
3.11	PATOLOGIAS POR ACCIONES EXTERNAS	173
3.11.1	POLUCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	173
3.11.2	CULTIVOS BIOLÓGICOS	175
3.11.3	EFLORESCENCIAS	179
3.11.4	GOLPE ENTRE EDIFICIOS	181
3.11.5	SEPARACIÓN ENTRE ESTRUCTURAS ADYACENTES	183

3.11.6	FALTA DE MANTENIMIENTO	186
3.11.7	EFEECTO DEL FUEGO	187
4	PATOLOGÍAS MÁS COMUNES EN COLOMBIA	189
4.1	DAÑOS MÁS COMUNES EN BUCARAMANGA	190
5	ANALISIS DE LAS NORMATIVIDADES EXISTENTES	193
5.1	NORMAS EUROPEAS	194
5.2	NORMAS NORTEAMERICANAS	197
5.2.1	ACI - MANUAL PRÁCTICO DEL CONCRETO	197
5.2.2	MANUAL DE PRÁCTICAS AL CONCRETO SEGÚN EL ASTM	198
5.2.3	NORMAS FEMAS 273, 274, 302 A, 303 A	199
5.2.4	CÓDIGOS USADOS EN ESTADOS UNIDOS	200
5.2.5	EL NUEVO CÓDIGO ACI 318 – 02	201

5.2.6	MODIFICACIONES MÁS IMPORTANTES DEL ACI 318-99	
	Y 318-02	202
5.3	ACTUALIZACION DE LAS NORMAS COLOMBIANAS	204
5.3.1	DISEÑO BASADO EN EL COMPORTAMIENTO	204
5.3.2	NORMAS COLOMBIANAS PUBLICADAS	
	RECIENTEMENTE	206
5.3.3	CAMBIOS EN LAS NORMAS DEL CONCRETO	207
5.3.4	SITUACIÓN ACTUAL	208
6	METODOLOGIAS DE EVALUACION EXISTENTES EN	
	PATOLOGIA ESTRUCTURAL	211
6.1	METODOLOGÍAS INTERNACIONALES	212
6.1.1	MÉTODO YUGOSLAVO	214
6.1.2	MÉTODO DEL ATC – 20	215
6.1.3	MÉTODO JAPONÉS	216
6.1.4	MÉTODO MEXICANO	217
6.1.5	MÉTODO ITALIANO	218

6.1.6	MÉTODO DEL ACI 364.1 R - 94. (REAPROBADA EN 1999)	219
6.2	METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE DAÑOS	
	DESARROLLADAS A NIVEL NACIONAL	220
6.2.1	MÉTODO DE PEREIRA	222
6.2.2	MÉTODO DE CENSO DEL EJE CAFETERO	223
6.2.3	MÉTODO DE MANIZALES	224
6.2.4	MÉTODO DE BOGOTÁ	225
6.2.5	MÉTODO DEL QUINDÍO	226
6.2.6	CONCLUSIONES SOBRE LAS METODOLOGÍAS EN PATOLOGÍA AVANZADAS	227
7	PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LA EVALUACIÓN DE DAÑOS	230
7.1	FALTA DE ENTRENAMIENTO Y CALIFICACIÓN DE LOS EVALUADORES	230
7.2	SUBJETIVIDAD EN LAS EVALUACIONES	231

7.3	PROBLEMAS EN LA UBICACIÓN DE LOS PREDIOS	231
7.4	FALTA DE ORGANIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS REGISTROS	232
7.5	FALTA DE UN PLAN DE CONTINGENCIA ABSOLUTO	232
7.6	FALTA DE PLANIFICACIÓN DE LAS VISITAS	233
7.7	MANEJO INADECUADO DE LOS OCUPANTES DE LAS EDIFICACIONES	234
8	PROPUESTA DE METODOLOGIA DE EVALUACION EN PATOLOGIA ESTRUCTURAL	236
8.1	GENERALIDADES	237
8.2	PROPÓSITO	237
8.3	INVESTIGACIÓN PRELIMINAR	238
8.3.1	OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN	240
8.3.2	PROFESIONALES Y TIEMPO DE EVALUACIÓN REQUERIDA	240

8.3.3	DOCUMENTACIÓN	241
8.3.4	OBSERVACIONES DEL CAMPO Y ENCUESTA SOBRE LAS CONDICIONES	241
8.3.5	MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES	249
8.3.6	INSPECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS	258
8.3.7	CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DEL DAÑO	261
8.3.8	CATEGORÍAS PARA LA CLASIFICACIÓN GLOBAL DE LA EDIFICACIÓN	262
8.3.9	RECOMENDACIONES Y MEDIDA DE SEGURIDAD	268
8.3.10	EVALUACIÓN	269
8.3.11	INFORME FINAL	269
8.4	INVESTIGACIÓN DETALLADA	270
8.4.1	OBJETIVO DE LA EVALUACIÓN	270
8.4.2	PROFESIONALES Y TIEMPO DE EVALUACIÓN REQUERIDA	271

8.4.3	DOCUMENTACIÓN	271
8.4.4	OBSERVACIONES DEL CAMPO Y ENCUESTA SOBRE LAS CONDICIONES ACTUALES	277
8.4.5	MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES	290
8.4.6	INSPECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS	305
8.4.7	CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (HABITABILIDAD)	310
8.4.8	CATEGORÍAS DE CALIFICACIÓN GLOBAL DE LA EDIFICACIÓN	312
8.4.9	RECOMENDACIONES Y MEDIDAS DE SEGURIDAD	318
8.4.10	EVALUACIÓN	319
8.4.11	INFORME FINAL	322
	CONCLUSIONES	326
	RECOMENDACIONES	328

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 330

BIBLIOGRAFIA 339

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo secuencial de los procesos que sigue la patología estructural	11
Figura 2. Ejemplo de daños en edificaciones	14
Figura 3. Edificio de concreto armado construido sin el cumplimiento de los requisitos de las normas	20
Figura 4. Anatomía de las patologías superficiales en el concreto	26
Figura 5. Derivas y estabilidad	30
Figura 6. Ejemplo de patología por construcción	33
Figura 7. Ejemplo de falta de control en el manejo de la mezcla	34
Figura 8. Ejemplo de colapso por errores en construcción	36
Figura 9. Edificio informal de siete pisos, que originalmente fueron tres	37

Figura 10. Estructura en construcción donde se detecta la falta de recubrimiento	37
Figura 11. Deficiente detallado del refuerzo, falta de anclaje y de adherencia	42
Figura 12. Ejemplos de patología por configuración geométrica	44
Figura 13. Plantas y elevaciones	49
Figura 14. Formas más comunes de las plantas	50
Figura 15. Hospital de caldas en colombia	50
Figura 16. Formas irregulares en altura	53
Figura 17. Ejemplo de edificio escalonado	56
Figura 18. Mala configuración estructural de entramados que forman pórticos	57
Figura 19. Ejemplo de concentraciones de masa	59
Figura 20. Ejemplos de columna corta	61
Figura 21. Falla en planta baja por piso suave	65

Figura 22. Colapso de edificio con piso flexible para parqueo	67
Figura 23. Ejemplos de edificios con irregularidad tipo "piso flexible"	68
Figura 24. Interrupción de muro estructural en la planta baja	68
Figura 25. Colapso estructural debido a la discontinuidad de elementos verticales	69
Figura 26. Ejemplos de daños en diafragmas	71
Figura 27. Caída de muros de fachada por flexibilidad de la estructura	73
Figura 28. Comportamiento rígido y flexible del diafragma	75
Figura 29. Colapso del new society hotel por falla de la columna de la esquina por torsión	78
Figura 30. Ejemplos de torsión	80
Figura 31. Torsión por muros excéntricos	80
Figura 32. Localización y delineamiento de fisuras	88
Figura 33. Tiempo de aparición de fisuras	89

Figura 34. Ejemplo de asentamiento plástico	93
Figura 35. Fisuración de una placa	95
Figura 36. Fisuras por retracción hidraulica en una viga	95
Figura 37. Fisuras por exceso o falta de rigidez	96
Figura 38. Fisuras por retracciones diferenciales	96
Figura 39. Ejemplo de ejecución en estado plastico	99
Figura 40. Ejemplo de contracción plástica	100
Figura 41. Ejemplo de barreras contra el viento y el sol	101
Figura 42. Ejemplo de juntas frias	101
Figura 43. Ejemplos de contracción por secado	102
Figura 44. Fisuras por origen térmico	104
Figura 45. Ejemplos de fisuras en muros de fachadas	106
Figura 46. Formas más comunes de fisuras en muros de fachadas	108
Figura 47. Fisuración por asiento plástico en la cabeza de las columnas	110

Figura 48. Fisuración de las columnas por agotamiento de la resistencia del concreto	111
Figura 49. Ejemplo de fisuras en nudos	111
Figura 50. Fisuras en las zonas ubicadas en caras opuestas a cada lado del nudo	112
Figura 51. Fisuras en las zonas ubicadas en caras opuestas a cada lado del dintel	113
Figura 52. Efectos dependientes de las cargas	115
Figura 53. Evolución de una fisura de momento flector	117
Figura 54. Ejemplos de fisura por flexion	117
Figura 55. Evolución de una fisura de esfuerzo cortante	118
Figura 56. Ejemplos de punzonamiento	119
Figura 57. Ejemplos de compresión	120
Figura 58. Ejemplos de torsion	121
Figura 59. Efectos independientes de las cargas	122

Figura 60.	Ejemplos de fisuras por mala disposición de la armadura	124
Figura 61.	Ejemplos de fisuras por exceso de deformación	126
Figura 62.	Ejemplos de fisuras por asientos excesivos	127
Figura 63.	Ejemplo de fisuras por ciclos de hielo – deshielo	128
Figura 64.	Ejemplo de fisuras por reacción alcali – agregado	129
Figura 65.	Acción del fuego sobre el concreto	130
Figura 66.	Ejemplo de localización de fisuras por la presencia del fuego	130
Figura 67.	Ejemplo de fisuras por corrosión	131
Figura 68.	Ejemplo de acero al descubierto	132
Figura 69.	Acción de los sulfatos	138
Figura 70.	Aspecto de un concreto deteriorado por expansion debida al ataque de sulfato	139
Figura 71.	Proceso de reacción álcali – agregados	140
Figura 72.	Ejemplo de la acción de los álcali – agregados	141

Figura 73. Relación a/c vs. resistencia a la compresión	143
Figura 74. Ejemplo de corrosión	145
Figura 75. Ingreso de cloruros	148
Figura 76. Muestra para el ensayo de carbonatación	150
Figura 77. Proceso de carbonatación	151
Figura 78. Ejemplo de punzonamiento	153
Figura 79. Los muros y las fachadas no tienen la adecuada relación con el comportamiento de la estructura	157
Figura 80. Daño en escaleras por el inapropiado despiece	159
Figura 81. Levantamiento en gps mostrando un pequeño anticlinal relacionado con una falla ciega y un canal abandonado	167
Figura 82. Ejemplo de falla a flexión	169
Figura 83. Ejemplos de falla a carga axial (columna no esbelta)	170
Figura 84. Ejemplo de falla a carga axial (columna esbelta)	171
Figura 85. Ejemplos de falla de confinamiento	172

Figura 86. Fallo de nudos viga - columna por falta de refuerzo transversal	173
Figura 87. Modelo de escurrimiento y absorción de agua sobre una superficie vertical de concreto	175
Figura 88. Concreto manchado por contaminación de la superficie	176
Figura 89. Aspecto de la superficie de un concreto lixiviado	177
Figura 90. Corrosión del acero de refuerzo por desapaivación del recubrimiento	178
Figura 91. Eflorescencia y manchado de una superficie de concreto por carbonatación	180
Figura 92. Ejemplos de golpeteo en edificios	182
Figura 93. Separación entre edificios de diferente altura con separación apropiada para el libre desplazamiento entre ellos	185
Figura 94. Separación entre edificios de altura similar	185

Figura 95. Degradacion de la superficie de concreto de una instalacion industrial, por falta de mantenimiento y limpieza	187
Figura 96. Armenia, después del sismo del 25 de enero de 1999, se ilustra un escenario de riesgo materializado en desastre debido a la vulnerabilidad de sus edificios que no se construyeron con normas sísmicas	189
Figura 97. Algunos elementos para adelantar la inspección visual	243
Figura 98. Medida del ancho de fisuras, mediante un comparador de fisuras	244
Figura 99. Medida de la actividad de fisuras, mediante testigos de vidrio	245
Figura 100. Levantamiento y análisis de fisuras	246

Figura 101. Estimación de la resistencia aproximada del concreto y su uniformidad, mediante el uso de un esclerómetro digital	251
Figura 102. Ejemplo del uso de esclerómetro	251
Figura 103. Determinación de la localización, profundidad y diámetro de barras de refuerzo, mediante el uso de un pachómetro	252
Figura 104. Ferroskan, equipo utilizado para el barrido de los elementos estructurales que permite conocer la posición del acero de refuerzo	253
Figura 105. Localización de refuerzo - ferroskan: a) sobre muros; b) sobre placas	254
Figura 106. Tipos de imágenes procesadas por el ferroskan: a.) imagescan (representación gráfica del acero de refuerzo)	

y b.) quicksan (localiza rápidamente las barras de refuerzo perpendiculares a la dirección del barrido)	255
Figura 107. Localización de barras refuerzo, con el uso de radar	256
Figura 108. Estimación de la resistencia aproximada del concreto y su uniformidad, mediante el uso de la pistola de windsor	256
Figura 109. Estimación de la resistencia aproximada del concreto y su uniformidad, mediante el uso de un equipo de ultrasonido	257
Figura 110. Remoción de partículas blandas de concreto	258
Figura 111. Criterio para definir si un daño es puntual o general, teniendo en cuenta la severidad de los daños y el porcentaje de elementos afectados	261
Figura 112. Geometría de las secciones y cuantía del refuerzo	281
Figura 113. Recorrido e inspección de una estructura	282
Figura 114. Vibraciones ambientales, strainage, topografía	292
Figura 115. Pruebas geotécnicas	293

Figura 116. Extracción del núcleo	295
Figura 117. Ejemplos de núcleos de concreto	295
Figura 118. Muestra de un ensayo a compresión	296
Figura 119. Ejemplos de aparatos usados en el monitoreo de corrosión	297
Figura 120. Equipo de media celda utilizado para medir potenciales eléctricos e identificar zonas donde la corrosión está presente	298
Figura 121. Prueba de corrosión realizada en una columna. tanto la superficie de concreto como la esponja de la media celda debían estar previamente húmedas	299
Figura 122. Ejemplos de ensayos químicos	300
Figura 123. Ejemplo de extracción de muestras de polvo	301
Figura 124. La prueba con la fenolftaleína se realiza en las columnas en las que se descubre el acero. la fotografía	

muestra una columna cuya profundidad máxima de

carbonatación es de 1.2cm 302

Figura 125. Bloques pulidos obtenidos a partir de los núcleos 303

Figura 126. Enfermedades del concreto observadas en las

secciones delgadas. las fotos evidencian la pasta de

cemento carbonatada y la reacción álcali - agregado 304

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valor crítico de cloruros en concreto reforzado	148
Tabla 2. Breve descripción de algunos de los principales modelos de pliegues asociados con fallas ciegas. (la representación gráfica de cada modelo fue tomada de burbank y anderson, 2001)	164
Tabla 3. Criterios para la asignación del nivel de afectación	262
Tabla 4. Rangos para la clasificación del daño	311
Tabla 5. Condiciones de habitabilidad	311

RESUMEN

TITULO: METODOLOGIA DE EVALUACIONEN PATOLOGIA ESTRUCTURAL *.

AUTORES: JUAN LEONARDO CARREÑO CARREÑO
RICARDO ANDRES SERRANO RODRIGUEZ**

PALABRAS CLAVES:

Clasificación, Configuración, Corrosión, Evaluación de Daños, Fisuración, Investigación, Metodología, Normatividad, Patología Estructural, Proceso, Pruebas, Vulnerabilidad.

CONTENIDO:

El presente proyecto de grado parte en primera instancia de una leve introducción al concepto de Patología Estructural, basándose en las características a tener en cuenta en dicho proceso. Para tener un claro concepto de las diferentes clases de Patologías, se muestra un análisis somero de las que se presentan con mayor frecuencia en nuestro medio.

Seguidamente se realiza una breve descripción de las diferentes Normatividades Existentes con respecto al proceso de Patología Estructural tanto en Europa, América, como así mismo, las Actualizaciones hechas a nivel de Colombia en los últimos años. A continuación se hace un análisis de las Metodologías de Evaluación de Edificaciones Existentes, destacando sus virtudes y defectos por cuestiones de aplicabilidad y la relación entre ellas.

Se procede a plantear una Metodología de Evaluación en Patología Estructural, basándonos en la información recopilada, destacando en ella, dos grandes procesos: Investigación Preliminar e Investigación Detallada, donde se analiza la estructura desde la ubicación del sitio, hasta la toma de decisiones con respecto a la habitabilidad de ésta.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas.

Escuela de Ingeniería Civil

Ing. Ricardo Cruz

ABSTRACT

TITLE: METHODOLOGY OF EVALUATION IN STRUCTURAL PATHOLOGY *.

AUTHORS: JUAN LEONARD CARREÑO CARREÑO
RICARDO ANDRES SERRANO RODRIGUEZ **

KEY WORDS:

Classification, Configuration, Corrosion, Evaluation of Damages, Fisuración, Investigation, Methodology, Normative, Structural Pathology, Process, Tests, Vulnerability.

DESCRIPTION:

The present grade project leaves in first instance from a light introduction to the concept of Structural Pathology, being based on the characteristics to keep in mind in this process. To have a clear concept of the different classes of Pathologies, a shallow analysis is shown of those that are presented with more frequency in our means.

Subsequently he/she is carried out a brief description of the different Norms Existent so much with regard to the process of Structural Pathology in Europe, America; I eat likewise, the Upgrades made at level of Colombia in the last years. Next an analysis of the Methodologies of Evaluation is made in Existent constructions, highlighting its virtues and defects for questions of applicability and the relationship among them.

You proceed to outline a Methodology of Evaluation in Structural Pathology, basing us on the gathered information, highlighting in her, two big processes: Preliminary investigation and Detailed Investigation, where the structure is analyzed from the location of the place, until the taking of decisions with regard to the habitability of this.

* Grade Project

** Physical – Mechanics Engineering.

School of Civil Engineering

Engineer Ricardo Cruz

INTRODUCCION

Durante tiempos históricos se tiene conocimiento de factores que han causado daños en edificaciones, ocasionando destrucción y el colapso de muchas viviendas. Un elevado porcentaje de las víctimas cobradas por daños en las edificaciones, se debe al derrumbe de construcciones hechas por el hombre; este problema se ha ido transformando así en una amenaza de importancia creciente en la medida en que las áreas urbanas han crecido y se han hecho más densas. Las soluciones constructivas más duraderas en vastas extensiones de nuestro planeta han sido aquellas capaces de resistir las acciones externas, del uso y de sus propios componentes.

La incorporación y desarrollo de la resistencia de materiales en el proyecto de las edificaciones facilitó la predicción cuantitativa del estado de tensiones en las construcciones. De igual modo la aplicación de procedimientos de análisis y la incorporación del acero en la construcción, incrementaron sensiblemente la seguridad en las edificaciones. A mediados del presente siglo, los problemas específicos de la Ingeniería Civil progresivamente dejan de ser resueltos en base a observaciones y comienza a desarrollarse una disciplina fundamentada sobre bases científicas, con un cuerpo organizado de conocimientos, programas de investigación para entender ciertos problemas no resueltos y una fértil interacción entre ciencias básicas de un lado y la experiencia de ingenieros proyectistas y constructores por el otro.

Desde una perspectiva histórica, un código por sí solo no puede garantizar la seguridad contra el daño excesivo, puesto que los códigos

son reglamentos que establecen requisitos mínimos, los que a su vez experimentan actualizaciones continuas de acuerdo con los avances tecnológicos y las enseñanzas que dejan las investigaciones y los estudios de los efectos causados por los daños en las edificaciones. La ductilidad y redundancia estructural han resultado ser los medios más efectivos para proporcionar seguridad contra el colapso. El daño severo o colapso de muchas estructuras durante el transcurso de su vida útil es, por lo general, consecuencia directa de la falla de un solo elemento o serie de elementos con ductilidad o resistencia insuficiente.

En el umbral de un nuevo siglo no se comprende cómo a pesar del desarrollo de las tecnologías constructivas, del conocimiento del comportamiento de los materiales, aparezcan tan rutinariamente fallas y daños en las edificaciones, como si fuéramos incapaces de construir adecuadamente. Por supuesto que es tan grande el volumen de obras ejecutadas a un ritmo extraordinario y de tal complejidad que la aparición de errores en el proyecto, diseño o en la construcción, obliga a emprender una gran cruzada de concientización sobre el particular, contando para ello con la colaboración de todos los profesionales vinculados al sector de la construcción.

Cada día se aprecia el interés profesional sobre el tema de la Patología Estructural motivados por el creciente número de daños, mal funcionamiento, intervenciones normativas o deterioro por el simple paso del tiempo. Crece también el interés por conocer métodos y técnicas que puedan emplearse de manera segura, en el tratamiento de problemas en las edificaciones ante el creciente número de daños que no sería preocupante si ellos aparecieran en edificaciones construidas hace bastantes años, no así cuando conocemos que tales anomalías se ven en

construcciones nuevas y en algunos casos cuando aún no se han dado al servicio.

Teniendo en cuenta las lecciones que los daños en todo tipo de construcciones han dejado en la ingeniería y que muchas de las edificaciones existentes fueron diseñadas antes de la aparición de los códigos de diseño se hace necesario llevar a cabo estudios que se materialicen en la actualización o rehabilitación de las estructuras existentes. Para poder llevar a cabo la rehabilitación de una estructura es indispensable realizar un estudio detallado de evaluación de daños, para proceder a plantear las alternativas de rehabilitación más convenientes. Los métodos de Rehabilitación de edificaciones tienen como principal objetivo garantizar condiciones adecuadas de estabilidad y capacidad de comportamiento inelástico del sistema estructural.

Existen razones discutibles por las cuales no se divulgan los tratamientos de rehabilitación o reforzamiento de los innumerables casos que se presentan. Cuando se confirma un daño o falla, pareciera que el primer paso del tratamiento es el disimulo o desaparición de toda prueba ante el riesgo de colocar en evidencia tanto la obra como los profesionales que la diseñaron o construyeron. Se pierde entonces la gran posibilidad de compartir las experiencias cuando precisamente toda lección sobre el particular es la mejor ganancia para difundir procesos de patología y rehabilitación sistemáticos.

La esencia de éste Proyecto de Grado, radica en conocer el estado del arte de la evaluación de estructuras en concreto reforzado, partiendo de la normatividad existente y de los diferentes documentos o artículos publicados con respecto al tema en Colombia y alrededor del mundo.

Después de hacer un análisis exhaustivo de los daños que se pueden presentar en una estructura de concreto, se procede a plantear una metodología de evaluación, con la cual se podrá detectar y planificar a tiempo, cualquier problema que se presente en una edificación en Colombia.

1 DEFINICIONES

Antes de entrar a analizar el concepto de Patología Estructural y el proceso detallado que bajo esta actividad se desarrolla, es importante aclarar primero una serie de términos cuyo uso será de vital importancia en el desarrollo del proyecto, ya que se encuentran en el argot popular del tema a tratar, y también porque pueden llegar a generar confusiones en el momento de su aplicación, ya que su significado puede parecer similar.

Actualización Estructural: Proceso mediante el cual una estructura, no necesariamente deteriorada, es llevada a una condición tal que cumpla los códigos sismo-resistentes que la cobijan de acuerdo con la zona geográfica y el tipo de edificación.

Amenaza Sísmica: Es la probabilidad de que durante un período de tiempo y lugar particulares, ocurra un sismo que produzca aceleraciones del suelo local suficientes para ocasionar daños.

Amortiguación: Es la capacidad de la edificación a neutralizar o suprimir la vibración y por lo tanto, a disipar la energía.

Apuntalamiento: Proceso en el cual el madero hincado en suelo firme, es usado para sostener y afirmar la pared que esta desplomada o el edificio en riesgo de amenaza.

Carbonatación: Proceso en el cual se transforma una base en una roca constituida por carbonato de Calcio o de Magnesio.

Centro de Masa: Es el punto hipotético de un nivel, en donde se supone que actúa la resultante de las fuerzas gravitacionales para obtener un sistema en equilibrio.

Centro de Rigideces: Es el centro geométrico de las rigideces relativas de todos los componentes verticales que resisten fuerzas horizontales. Es aquel punto del nivel donde al aplicar una fuerza horizontal, el nivel se traslada sin rotar respecto al nivel inferior.

Compacidad: Estado molecular de un cuerpo, relativamente a la distancia que media entre dos sucesivas: Así la compacidad de un cuerpo será mayor o menor según que dicha distancia sea más o menos extensa al compararla con la de otro cuerpo tomado por unidad.

Configuración: Disposición, estructura de las partes que componen un cuerpo y le dan su peculiar figura.

Deriva: Es el desplazamiento horizontal relativo entre 2 puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos, de la edificación.

Ductilidad: Es la capacidad que deben tener los componentes del sistema de resistencia sísmica de deformarse sin pérdida apreciable en su capacidad resistente.

Durabilidad: Calidad de una estructura y de cada uno de sus componentes, que asegura el que no se alcance un Estado Límite dentro de la vida útil esperada.

Etringita: Sulfato básico e hidratado de aluminio y calcio, transparente e incoloro; cristaliza en prismas hexagonales. Se encuentra principalmente en Alemania y Estados Unidos.

Estados Límites: Son aquellos estados más allá de los cuales la estructura deja de cumplir su función o de satisfacer las condiciones para las que fue proyectada.

Excentricidad: Es la distancia entre el centro de rigideces y el centro de masa.

Idoneidad: Que tiene buena disposición o suficiencia para hacer alguna cosa.

Juntas de Construcción: Se generan longitudinalmente al construir franjas o cuando se suspenden las labores de colocación.

Juntas de Contracción: Tanto Por secado del concreto como por Dilatación Térmica se crean juntas transversales.

Nervada: Aplíquese a todas las partes de la planta provistas de nervaduras o molduras salientes que forman las aristas de una bóveda, los lados de los canalones, los ángulos de las piedras, etc.

Obras de Conservación: Son aquéllas cuya finalidad es la de mantener al edificio en correctas condiciones de salubridad, habitabilidad, confortabilidad y ornato, sin alterar sus características morfológicas o de distribución. Se incluirán en este tipo, entre otras, las de reposición de instalaciones, el cuidado de cornisas, salientes y vuelos, la limpieza o reposición de canalones y bajantes, la reparación de cubiertas, y la sustitución de solados, yesos y pinturas interiores.

Obras de Preservación: Proceso de mantener una estructura en su condición presente y contrarrestar posteriores deterioros.

Obras de Reforzamiento: Proceso mediante el cual se incrementa la capacidad de una estructura o de una parte de ella, para resistir cargas.

Obras de Rehabilitación: Serán consideradas como rehabilitación todas aquellas intervenciones sobre un edificio que mejoren sus condiciones de salubridad, habitabilidad, confortabilidad, seguridad y ornato, y modifiquen su distribución y/o alteren sus características morfológicas y distribución interna.

Obras de Reparación: Son las que se encargan de remplazar o corregir materiales, componentes o elementos de una estructura, los cuales se encuentran deteriorados, dañados o defectuosos.

Obras de Restauración: Tienen por objeto la restitución de un edificio, o de parte del mismo, a sus condiciones o estado original. Dicha situación o estado original se encontrará suficientemente documentado. Podrá comprender asimismo, las obras complementarias que coadyuden para dicho fin.

Obras de Reestructuración: Son aquéllas que afectan a sus condiciones morfológicas, pudiendo variar el número de viviendas o locales existentes.

Obras Exteriores: Son las obras que afectan, de forma puntual o limitada, a las fachadas y cubiertas de los edificios, modificando su configuración exterior sin afectar a la volumetría. Comprende la modificación de huecos, ritmos, tratamientos o materiales, la sustitución de los elementos de cierre o sus materiales, la implantación de elementos

fijos exteriores con o sin afectación estructural, muestras, marquesinas y escaparates.

Patología Estructural: Es la ciencia encargada del estudio de los procesos y características de las “enfermedades” o los “defectos y daños” que puede sufrir el concreto, haciendo énfasis en sus causas y consecuencias.

Profilaxia: Son todas las medidas preventivas que deben ser tomadas en las construcciones nuevas, a partir del correcto diagnóstico de los problemas. Se aplica esencialmente a construcciones nuevas, como una forma de evitar deterioro precoz.

Resonancia o Sincronismo: Ocurre entre la estructura y el suelo cuando el período de vibración del edificio coincide con el período natural del suelo, por lo que la vibración del edificio irá en aumento.

Rehabilitación Estructural: Proceso para devolver a una estructura la condición que tenía antes de un daño, o su condición inicial cuando fue construida.

Rigidez: Capacidad de resistencia de un cuerpo a cambiar de forma al serle aplicadas fuerzas exteriores.

Sistema estructural: Es el conjunto de elementos que conforman una edificación, capaces de resistir tanto fuerzas verticales como fuerzas horizontales, determinando una ruta o sistema de transmisión de cargas.

Terapia: Como nueva disciplina de la Ingeniería Civil, estudia la corrección y la solución duradera de los problemas patológicos, o sea,

como corregir la pérdida precoz y no prevista de la vida útil inicialmente esperada y deseada para las estructuras de concreto.

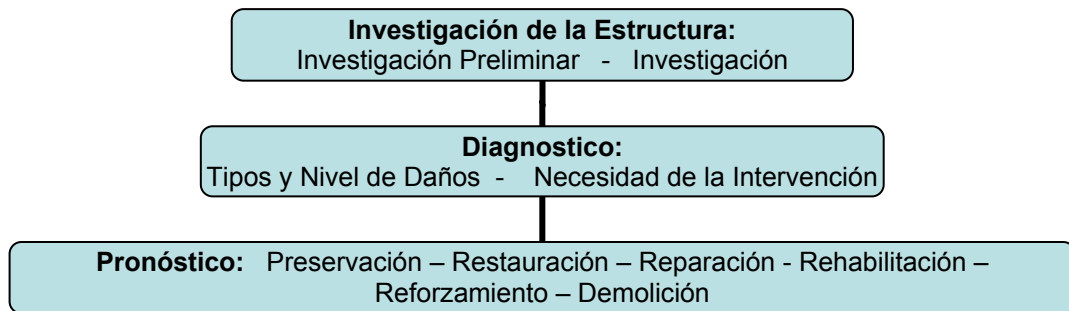
Vida Útil de Servicio: Es un período de tiempo el cual esta comprendido por cuatro fases: Período de proyecto y construcción; Período de iniciación del ataque, Período en el cual no se ha propagado el daño; Período en el que ya hay una avanzada propagación del daño.

Vulnerabilidad: Es la capacidad que tienen los elementos expuestos, tales como las edificaciones, a resistir los efectos de un sismo sin daño permanente ¹.

2 PATOLOGÍA ESTRUCTURAL

Es la parte de la ingeniería dedicada al estudio sistemático y ordenado de los daños y fallas que se presentan en las edificaciones, analizando el origen, las causas, los síntomas y consecuencias de ellas, para que mediante la formulación de procesos, se generen posteriormente las medidas correctivas para lograr recuperar las condiciones de desempeño de la estructura; o sea, es la ciencia que permite un correcto diagnóstico de un problema patológico.

FIGURA 1. MODELO SECUENCIAL DE LOS PROCESOS QUE SIGUE LA PATOLOGÍA ESTRUCTURAL.



2.1 JUSTIFICACION DE LA PATOLOGIA ESTRUCTURAL

Las palabras claves usadas en la Patología Estructura, y que a la vez definen dicho proceso son:

VER - Descubrir las Patologías
EVALUAR - Establecer el diagnóstico

El proceso de urbanización acelerado que han vivido las ciudades, la improvisación al construir, la necesidad de vivienda económica que obliga a algunos de sus habitantes a edificar en zonas de alto riesgo sin controles de diseño, la baja inversión en vivienda, la existencia de viviendas antiguas que amenazan la vida de sus habitantes y en ciertos casos el pésimo manejo de la planificación de futuros daños en los proyectos y construcción de las viviendas, conllevan a que las edificaciones presenten problemas estructurales; las pérdidas: económicas, sociales, de vidas humanas y el número de emergencias se presenten sin que se realice un estudio de mitigación que prevenga estas situaciones evitando el retraso cultural y de desarrollo. Además de lo mencionado, los problemas en nuestro país radican principalmente: En las zonas de alto riesgo donde están ubicadas algunas regiones, en la existencia de fallas activas que pasan directamente a través de éstas, en la geología de los materiales y en la morfología de las altas montañas.

2.1.1 Objetivo de la Evaluación de Daños

Su objetivo es identificar las edificaciones que han sufrido daños graves y que pueden representar una amenaza para la comunidad, así como también las edificaciones seguras que pueden ser ocupadas o las que pueden servir como refugios temporales en el momento de presentarse un colapso en la vivienda. Este tipo de evaluación parte de la caracterización de los daños estructurales y no estructurales, como también de las fallas geotécnicas, las cuales sirven para definir la habitabilidad de las edificaciones y el tipo de medidas de mitigación

necesarias para proveer seguridad a la población. Esta herramienta facilita el proceso de toma de decisiones y permite, adicionalmente, dar una idea del impacto económico y social; aspectos básicos para la formulación de los proyectos de reconstrucción y la identificación de estrategias a largo plazo para reducir los daños. Indirectamente, también sirve para la investigación, ya que permite identificar las fallas más comunes en los diferentes sistemas estructurales y la identificación de zonas de alto riesgo a nivel urbano de acuerdo con su ubicación y con las características propias.

2.1.2 Razones para la Realización de un Proceso de Patología Estructural

- Cifras crecientes de daño en construcciones existentes.
- Daño en edificaciones nuevas.
- Deterioro grave en construcciones antiguas; son construcciones cuyos materiales han perdido sus propiedades resistentes.
- Nuevas condiciones de carga.
- Amenaza y Vulnerabilidad Sísmica.
- Cambio de Usos.
- Baja calidad original de los materiales de construcción.
- Baja calidad o falta de control de la mano de obra.
- Defectos estructurales tanto de la forma, como de cantidades de esfuerzo.
- Fallas por la forma irregular y/o el dimensionamiento desproporcionado de las construcciones.
- Fallas de orden Socio – Económico por necesidad de ahorrar tiempo y disminuir costos.

2.1.3 Daños en Edificaciones debidas a Terremotos

FIGURA 2. EJEMPLO DE DAÑOS EN EDIFICACIONES.



Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

Los daños que producen los terremotos se concentran en las construcciones más vulnerables y en aquellos lugares con suelos más blandos.

Los daños causados por un terremoto son el resultado de varios factores:

- La fuerza del movimiento: Es mayor cuanto mayor sea la magnitud del terreno y cuanto más cerca se esté del foco sísmico. Esta fuerza decrece a medida que el lugar está más lejos del epicentro.
- La duración del sismo: Los daños son mayores cuanto más dure el evento. Los terremotos de mayor magnitud producen aceleraciones de mayor duración.
- El tipo de suelo: Modifica las características de los eventos sísmicos. El movimiento del terreno es mayor cuanto más blando

sea éste, más gruesa sea la capa del suelo y sobre todo, cuando dicha capa está saturada de agua.

- Tipo de construcciones: Algunos tipos de construcciones no son suficientemente resistentes ante los movimientos laterales a los que les somete un terremoto. Esto se agrava cuando la estructura de la construcción está degradada, su cimentación es mala o se han cometido defectos graves en la edificación.
- Cimentación inadecuada al tipo de terreno: Porque sea insuficiente o este mal enlazada entre sí.
- La pendiente del terreno: Sobre todo para aquellas construcciones situadas en laderas con gran pendiente o en terrenos poco firmes.
- La falta de separación entre edificios: Ya que con el movimiento se golpean entre ellos (fenómeno "aplauso"), fenómeno que se ve incrementado con la altura de los mismos y la diferencia de alturas entre edificios colindantes.

Otros daños o situaciones que puede causar un sismo son:

- Cierre de carreteras y vías férreas.
- Colapso de puentes.
- Cierre de supermercados y comercio en general.
- Contaminación del aire y agua por escapes tóxicos e incendios.
- Colapso de hospitales.
- Falta de zonas de acogida.
- Exposición a las inclemencias del tiempo.

2.2 PROCESO DE EVALUACIÓN DE DAÑOS

El proceso de evaluación de daños es necesario analizarlo bajo las dimensiones existentes: Cuantitativa, Temporal y Espacial. A continuación se hace un análisis de las evaluaciones de daño que se han realizado en los últimos años, con el fin de encontrar posibles errores y así plantear soluciones dependiendo de las condiciones existentes.

2.2.1 Dimensión Cuantitativa

La cantidad de evaluaciones de habitabilidad y de daño que se deben hacer depende de la densidad de las edificaciones con daños y su vulnerabilidad, del tamaño de la ciudad, y de su población. A continuación se muestran las ciudades y los años en donde se han realizado algunas evaluaciones.

Friuli (Italia) 1976, Irpinia (Italia) 1980, Marche (Italia) 1997, Pollino (Italia) 1998, Northridge (USA) 1994, Kobe (Japón) 1995, LomaPrieta (USA) 1989, Kocaeli (Turquía) 1999, Atenas (Grecia) 1999.

En Colombia, a raíz del sismo del Eje Cafetero en 1999 se desarrollaron por parte de las autoridades locales más de 32000 evaluaciones de edificaciones en la ciudad de Armenia y 12000 en la ciudad de Pereira. Posteriormente, el Censo del Ministerio de Desarrollo con el fin de obtener el censo de inmuebles urbanos afectados en los 28 municipios objeto de la declaratoria de emergencia, desarrolló una metodología donde se evaluaron individualmente la totalidad de los 309331 predios existentes.

Análisis: Estas evaluaciones no se deberían realizar después de ocurrido un evento de estas magnitudes, por el contrario se debería establecer un plan de prevención, con el que se pueda llevar un seguimiento de la situación estructural de las edificaciones, el cual permita determinar y evaluar cuales de estas, deben salir de funcionamiento para su demolición o para su rehabilitación, si el estudio de patología así lo indica. Esto evitaría que la situación económica de países en desarrollo se viera más afectada al tener que invertir grandes cantidades de recursos económicos en la reconstrucción de pueblos y ciudades.

2.2.2 Dimensión Temporal

La evolución en el tiempo de las evaluaciones de daño y habitabilidad están influenciadas por el número de edificaciones a ser inspeccionadas, por la disponibilidad de ingenieros y el tiempo requerido para cada inspección. Por ejemplo en Kobe la evaluación y reporte inicial de reconocimiento tomó 3 días, las evaluaciones rápidas y de habitabilidad tomaron dos semanas y las inspecciones detalladas de daño también tomaron 2 semanas. Mientras que en Italia después del sismo de Pollino al mes se habían evaluado aproximadamente el 56 %, y en el sismo de Umbría - Marche en ese mismo tiempo se había inspeccionado el 87 %. Hay que tener en cuenta que este último sismo tuvo 3 réplicas que obligaron a repetir las evaluaciones de habitabilidad.

En el sismo del Eje Cafetero, contó con varias evaluaciones de las cuales no existe un registro exacto del tiempo, pero se considera que la primera fase elaborada por los Comités Locales y a las Asociaciones de Ingenieros, tomó más de 3 meses debido a que las inspecciones fueron realizadas de acuerdo con las solicitudes de los propietarios, siendo necesario regresar a los mismos barrios y manzanas varias veces, por

falta de una investigación previa de documentación en proyectos estructurales y planos de diseño que permitieran una ubicación espacial el evaluador y una primera idea de la situación actual de la edificaciones con barridos planificados acompañados con los debidos permisos y cartas catastrales, pero tomó más de 4 meses la recopilación y procesamiento de la información, por problemas de disponibilidad de personal capacitado y dificultades en la logística para el procesamiento de la información.

Análisis: De las experiencia anterior se evidencia una falta de capacitación por parte de los ingenieros, por lo cual, las universidades deberían incluir en su pensum académico una materia con relación a la patología estructural que les permitiera a los futuros ingenieros con mayor facilidad realizar un adecuado trabajo logístico y técnico en el momento de realizar una evaluación de daños.

2.2.3 Dimensión Espacial

Si el daño es producido por un Sismo los edificios localizados en la zona epicentral son inspeccionados normalmente primero que los edificios localizados en zonas no epicentrales, por lo tanto hay una relación espacio – temporal en la duración de las inspecciones.

En algunos países como Italia, los edificios y el área no se inspeccionan con anticipación, mientras que en otros como el Japón se selecciona con anticipación mediante un barrido rápido de cada sector y por lo tanto es más efectivo en términos de planificación de la inspección posterior de las edificaciones.

Análisis: ¿Deben ser Evaluadas las Viviendas o los Edificios?

La evaluación de la habitabilidad y de los daños puede ser realizada para viviendas o para edificios, aunque desde el punto de vista estructural es necesario inspeccionar tanto casas como edificios. En el procedimiento italiano las inspecciones son realizadas por solicitud de los propietarios de los predios. Entonces hay una diferencia entre el objeto de la solicitud al predio o vivienda, y el objeto de la inspección al edificio. Los edificios a ser inspeccionados deben ser seleccionados previamente y con una frecuencia se le entrega recibo de control de la zona por parte de los evaluadores.

En el caso de Colombia las evaluaciones han sido diseñadas para inspeccionar edificios, sólo en el caso del Censo del Eje Cafetero desarrollado por el Ministerio de Desarrollo, que se necesitaba definir la necesidad o no de asignar subsidios a cada predio dependiendo de su afectación, la evaluación se debe realizar a nivel de predios, pero teniendo en cuenta que el estado general de la estructura se afecta por la calificación del edificio y el estado de los elementos arquitectónicos que complementan la calificación del predio.

2.3 CONDICIONES PREVIAS A TENER EN CUENTA EN EL PROCESO DE PATOLOGIA ESTRUCTURAL

Son muchos los aspectos a planificar en el momento de llevar a cabo el proceso de Patología Estructural. En este proyecto se hace énfasis en los detalles más importantes cuya valoración se hace necesaria para cualquier estudio de evaluación de daños: Información histórica de la edificación, La Capacidad de predicción y La Necesidad de Capacitación.

2.3.1 Información Histórica de la Edificación

Pareciera un contrasentido decir que las edificaciones que tienen buen desempeño aportan poco al conocimiento del comportamiento estructural y aquellas que se deterioran nos brindan la extraordinaria oportunidad de aprender de los errores y fallas para minimizar el riesgo de daño y aún el colapso que pueda comprometer la vida de las personas que utilizan tal edificación.

Dichas las cosas así, es comprensible el interés por conocer los antecedentes de un proyecto cuando evidencia problemas patológicos, sin importar el nombre del profesional, la identificación de la firma constructora y otros aspectos que nada aportan al problema. La eventualidad de un problema en una edificación, debiera suscitar el interés por colaborar en el diagnóstico aportando todos los documentos y antecedentes del proyecto en la búsqueda de las causas que originaron el daño sin aprensiones que puedan limitar el análisis, diagnóstico y por lo mismo la solución al problema.

FIGURA 3. EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO CONSTRUIDO SIN EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE LAS NORMAS.



Fuente: Omar Darío Cardona ².

Es necesario al analizar los antecedentes de una edificación, hacer énfasis en el tema de los diseños tanto estructurales como arquitectónicos, ya que éstos tienen que cumplir las normas existentes, teniendo en cuenta los requisitos que allí se indican, y para ello se exige haber realizado un análisis dinámico adecuado.

2.3.2 Capacidad de predicción

La idea predominante sobre el vocablo predicción es el de un pronunciamiento determinístico sobre un evento futuro de naturaleza no determinística tal como la magnitud, sitio, día y hora de un futuro daño. Una revisión sobre este aspecto y sus implicaciones de prevención, permite afirmar lo siguiente:

- No se poseen aún teorías generales en base a las cuales se puedan hacer predicciones confiables sobre futuros daños a los que se puede ver expuesta una edificación. De una manera general, la predicción debe verse como una probabilidad condicional a ser revisada a medida que se produce nueva información. Para ello se requiere como mínimo:
 - Identificar las áreas en las cuales se considere más probable la ocurrencia de un daño importante, en un plazo corto de tiempo.
 - Seleccionar los parámetros o indicadores que resulten más confiables.
 - Contar con los medios adecuados para medirlos u observarlos sistemáticamente durante lapsos de tiempo que suelen ser de varios años.

- La capacidad de hacer una predicción confiable, en el sentido de poder efectuar un anuncio público de un nivel de servicio, no permite intervenir con el fin de reducir sustancialmente las pérdidas materiales directas en zonas densamente pobladas. Salvo en casos aislados, la estrategia más eficiente para limitar las pérdidas materiales, es la de proyectar y construir utilizando racionalmente los conocimientos de la Ingeniería.
- La experiencia demuestra que una vez admitida una predicción, es posible tomar medidas de defensa civil que reduzcan sustancialmente el riesgo de pérdidas de vidas así como de cierto tipo de pérdidas indirectas.

En el proyecto de edificaciones, éstas puedan quedar sometidas a acciones irreparables, es fundamental entender su comportamiento probable, cómo se va a deformar, cuales son sus regiones críticas y, sobre todo, evitar fallas prematuras que limiten la reserva resistente de la estructura.

Para los fines de la Ingeniería Estructural interesa centrar nuestra atención en la capacidad de pronosticar la respuesta y el desempeño de edificaciones existentes bajo la acción de agentes causantes de daños. Es decir, dada una edificación ubicada en cierto escenario o situación de deterioro, evaluar las consecuencias de esa exposición. No obstante, por las incertidumbres en los fenómenos asociados a daños se requiere extrema cautela ³.

2.3.3 Necesidad de capacitación

Para estudiar las causas, evaluar la gravedad de los daños, acertar en el diagnóstico, señalar los procedimientos de la patología, evaluar el reforzamiento y establecer los problemas constructivos, se requiere de técnicas que van desde el conocimiento de la mecánica de los materiales tanto tradicionales como los que van apareciendo en el mercado, las técnicas para auscultar mediante ensayos destructivos y no destructivos en las estructuras, los métodos de análisis y diseño estructural, las técnicas para el conocimiento físico y químico de los materiales. Dicho de otra manera es la conjunción de todos los conocimientos básicos en cada una de las áreas de la Ingeniería que junto con la experiencia y pericia del profesional se logra poseer un nivel adecuado para diagnosticar y recomendar procedimientos de evaluación.

Uno de los mayores inconvenientes surgidos en el proceso de medir y valorar daños tiene que ver con un diagnóstico desacertado o inapropiado. Sucede con frecuencia que el diagnóstico sobre el particular, surge de un profesional que no está al tanto de tema, inclusive con desconocimiento de los fundamentos de la ciencia estructural causando el problema de tener que nuevamente diagnosticar y evaluar al no corregir la causa del daño original. Por todo lo anterior, es necesario la idoneidad de las personas que van a ser la evaluación, para hacer que actúen con responsabilidad y ética.

Los daños que comúnmente se presentan en las edificaciones generalmente no son debidos a una única causa y cada día conocemos más de la combinación de circunstancias que motivan una falla que

pueden aparecer el primer día o desarrollarse a lo largo del tiempo de su vida o presentarse súbitamente por efectos repentinos.

Uno de los inconvenientes de la Patología Estructural consiste en determinar con precisión la condición de buen o mal comportamiento de una estructura para lo cual se requiere criterio adecuado por parte de quien analiza las evidencias de la eventual falla. Ese primera evidencia puede surgir por parte de cualquier persona, no necesariamente de alguien vinculado con la construcción por lo que su apreciación no puede ser la base para una decisión distinta de solicitar la presencia de quien conozca sobre el comportamiento de las edificaciones, para dar una opinión cierta y fundamentada sobre el posible daño. Ya se dijo y es necesario reiterarlo; la posible presencia de quien supuestamente conoce sobre el asunto puede precipitar o desestimar una intervención.

No puede darse una instrucción única sobre el tratamiento que debe darse a una situación particular. Cada caso exige un tratamiento singular por las condiciones de accesibilidad, localización, estado de deterioro, costo de los estudios, disponibilidad profesional, acierto en el diagnóstico, nivel de capacitación y experiencia de quien diagnostica.

Una de las principales valoraciones que se debe realizar, es tomar en cuenta el proceso constructivo para determinar si una manifestación patológica proviene de tal circunstancia o es fruto de funcionamiento de la edificación en servicio, lo que nos muestra la importancia de las memorias en el proceso constructivo como lo es el libro de interventoria o el libro de seguimiento de obra, el cual en muchas ocasiones no se lleva. De allí surge la necesidad de conocer los antecedentes de la estructura desde el

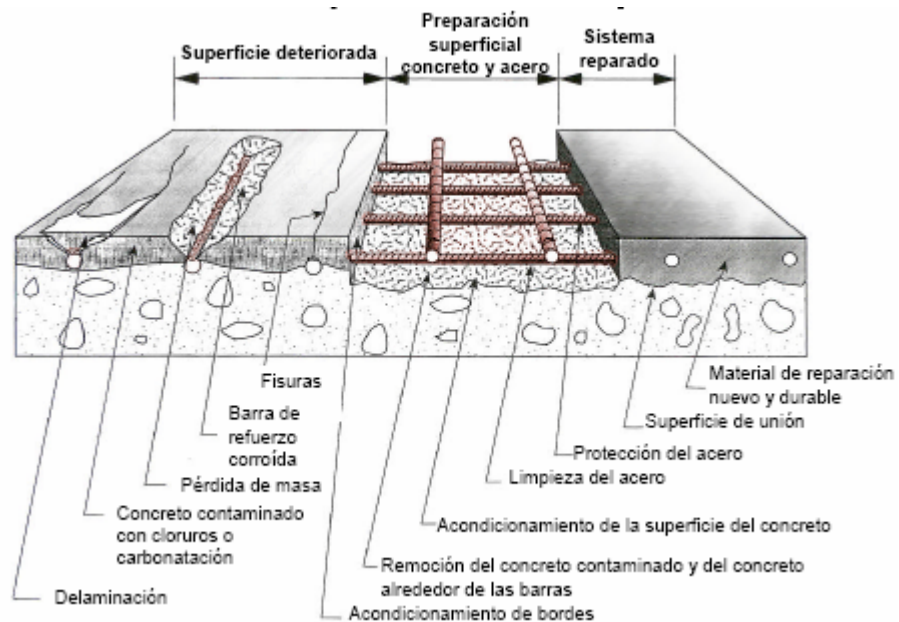
mismo momento de creación asociado con cada uno de los procesos seguidos en la etapa de su fabricación.

Estos comentarios demuestran la necesidad de considerar en la formación de los profesionales vinculados con el sector de la construcción el tema de la Patología de las Construcciones. Esto es necesario ya que hoy en día para el caso del área estructural se analizan, diseñan y construyen edificaciones como si ellas parecieran inmortales sin sufrir deterioro por alguna causa y los hechos muestran que desde el mismo instante de la creación y conceptualización se pueden presentar equivocaciones ⁴.

3 CLASES DE PATOLOGIAS

Para este análisis se clasificaron las patologías según el momento en el que actúan, teniendo en cuenta y haciendo énfasis en las que se presentan más a menudo:

FIGURA 4. ANATOMIA DE LAS PATOLOGIAS SUPERFICIALES EN EL CONCRETO.



Fuente: Omar Darío Cardona ².

3.1 PATOLOGÍAS POR CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL

La concepción de una estructura no sólo debe basarse en su función, sino también en las condiciones ambientales y en la vida estimada de servicio.

Para ello, es indispensable que los profesionales que intervienen en las fases de concepción y diseño del proyecto, sean consecuentes no solo en aplicar métodos de cálculo altamente desarrollados, sino también, en considerar los aspectos tecnológicos que aporta a la Ingeniería de Materiales.

3.1.1 Arquitectónica

Criterios Arquitectónicos: Consiste en la importancia que se debe tener en el momento de iniciar cualquier obra de ingeniería civil sobre la interrelación entre la parte arquitectónica y la parte estructural tanto en el diseño como en la construcción. Ya que cualquier cambio o modificación que el arquitecto haga al proyecto, modifica a la vez el trabajo que este haciendo el ingeniero estructural.

3.1.2 Ingeniería

Sistema Estructural: La escogencia de un adecuado y propicio sistema estructural, dependiendo de las condiciones existentes y del funcionamiento que se le desea dar a la estructura; es una condición básica antes de iniciar el proceso de construcción, ya que el desarrollo del proyecto como tal, de este punto en adelante, cambia totalmente dependiendo del sistema que se escoja, trayendo cualquier error en este sentido, graves consecuencias tanto económicas como de tiempo.

3.2 PATOLOGÍAS POR DISEÑO

Debido al desmesurado avance que han tenido los métodos de cálculo de estructuras, que consideran diversas hipótesis de carga, normas, cálculos, dimensiones y detalles, y tienden a optimizar los recursos disponibles en un proyecto de construcción, hoy en día hay una mayor inclinación hacia construir estructuras más esbeltas y algunas veces con factores de seguridad más bajos (que no ponen en riesgo la capacidad estructural, pero si pueden afectar la durabilidad).

Las Fallas por diseño en una estructura se pueden dar por alguna de estas razones:

- Por ausencia de cálculos o por no valorar todas las cargas y condiciones de servicio.
- Por falta de un diseño arquitectónico apropiado. El diseño estructural debe incluir los conceptos arquitectónicos y viceversa.
- Por falta de drenajes apropiados (eliminar el agua es eliminar el problema). El desagüe sobre el concreto hay que evitarlo, lo mismo que la presencia de agua estancada. Del mismo modo, deben reducirse las salpicaduras y los ciclos de humedecimiento y secado.
- Por no proyectar juntas de contracción, de dilatación o de construcción. Hay que entender que el diseño y construcción de estructuras de concreto implica la presencia de fisuras y grietas, que deben ser controladas mediante la disposición del llamado “acero de retracción y temperatura” y/o de juntas.
- Por no calcular de manera apropiada todos los esfuerzos y/o confiarse en los programas de computador.
- Por no dimensionar apropiadamente los elementos estructurales y/o no disponer apropiadamente el refuerzo.

- Por imprecisiones en los métodos de cálculo o en las normas.
- Por no especificar la resistencia y características apropiados de los materiales que se emplean (concretos y aceros).
- Por tolerar deformaciones excesivas en el cálculo.
- Por falta de detalles constructivos en los planos ⁵.

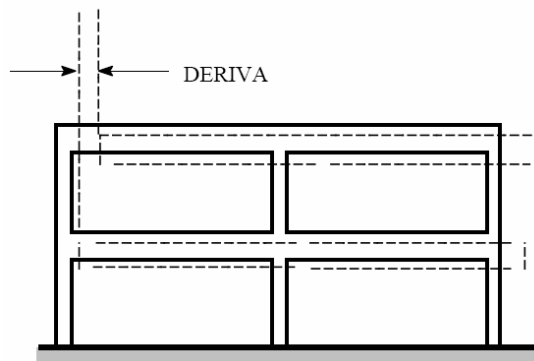
3.2.1 Diseño Precario

Las normas para el sector de la construcción en los últimos años, cada vez son más estrictas en los requisitos necesarios para realizar cualquier diseño estructural. Para ello las curadurías, son las encargadas de realizar una revisión minuciosa, de cada detalle que hace parte de los diseños presentados, y a su vez, si encuentran errores, devuelven dichos proyectos para que se realice la respectiva corrección. Se hace mucho énfasis en este aspecto, porque el diseño es el eje fundamental de toda obra civil, ya que proporciona los datos necesarios para proseguir con la construcción.

3.2.2 Deformaciones o derivas excesivas

En principio, los grandes desplazamientos laterales ponen en peligro la seguridad de la construcción en su totalidad, debido al daño que pueden representar para los elementos no estructurales en general. Sin embargo, cuando son aún mayores traen consigo el riesgo de colapso parcial o total de la edificación.

FIGURA 5. DERIVAS Y ESTABILIDAD.



Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

Para un análisis adecuado de los problemas de derivas y estabilidad resulta de gran importancia el cálculo de unos valores adecuados de desplazamiento inelástico. Ser conservador en este aspecto es más conveniente en el caso de hospitales que en el de otras construcciones convencionales, debido a las implicaciones que los daños en elementos no estructurales y estructurales tienen para los ocupantes y la comunidad en general.

3.2.3 Ductilidad

En vista de que los métodos de diseño no lineal simplificado exigen la capacidad de la estructura de permitir grandes deformaciones sin colapso, los elementos de la misma deben ser diseñados para atender adecuadamente esta demanda de deformaciones, pero se debe buscar el equilibrio en el que los desplazamientos de la estructura no afecten o produzcan daños en el contenido (elementos no estructurales).

En el diseño de estructuras de concreto reforzado deben tenerse en cuenta los siguientes criterios básicos, a fin de obtener la ductilidad requerida:

- *Confinamiento*: El confinamiento del concreto garantiza la preservación del material ante la alternación de esfuerzos al ocurrir cualquier daño y, en consecuencia, permite el desarrollo de deformaciones inelásticas mayores que las que se podrían presentar en una estructura en la que el concreto se deteriore.

- *Control de falla a cortante*: La falla a cortante es una falla que compromete seriamente la integridad de la sección de cualquier elemento de concreto reforzado. Por esta razón los códigos de diseño generalmente obligan a un diseño a cortante tal que garantice que la resistencia a cortante sea superior a la resistencia a flexión. Esto se logra utilizando como cortante de diseño un valor que sea como mínimo el correspondiente a la plastificación por flexión en los nudos extremos.

- *Control de la reducción de la ductilidad disponible debido a la carga axial*: La carga axial de compresión reduce drásticamente la ductilidad disponible en un elemento de concreto sometido a ella. El fenómeno, que es más fuerte en columnas que en muros estructurales, generalmente se debe a que a mayores cargas de compresión se reduce el trabajo a tensión del acero, el cual puede darse con valores del esfuerzo de trabajo menores del esfuerzo de fluencia, lo que implica un uso insuficiente del acero a efectos de desarrollar grandes deformaciones inelásticas y disipar energía por ese medio. Sin embargo, no siempre es posible diseñar las secciones de columnas de manera que haya esfuerzos altos de tracción en el acero, por razones arquitectónicas y económicas.

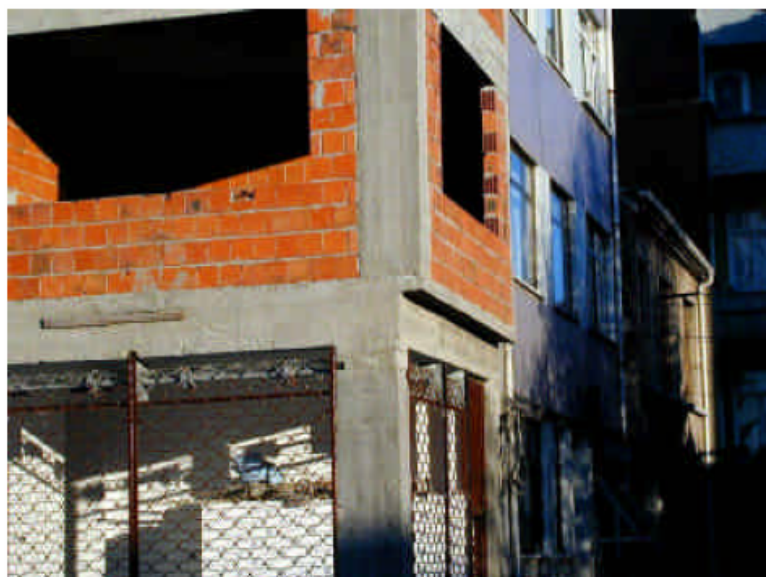
Otras características a tener en cuenta en las patologías por diseño son:

- Ausencia de Drenaje: El Agua es un elemento cuya presencia en la edificación puede representar un serio peligro ya que es causante de varias patologías, por ello se hace necesario el diseño de un sistema de drenajes que ayuden a evacuar las aguas.
- La presencia de Juntas de Construcción: Se colocan en el proceso de construcción y son necesarias siempre y cuando se definan su función en el sentido de colaborar en el proceso de liberar energía, dándole ductilidad a la estructura.
- La Inconsistencia en Planos: Es uno de los aspectos más importantes, ya cualquier error en este sentido, puede traer daños graves a la estructura e incluso el colapso en un futuro no muy lejano. Por esto, es recomendable aunque no se practique en la realidad, que la persona que elabore los planos sea la misma que realice el proceso de construcción.

3.3 PATOLOGÍAS POR CONSTRUCCIÓN

Algunos edificios se han proyectado y construido sin un control de calidad adecuado y un debido seguimiento o supervisión de la obra. La posibilidad de poder cubrir con acabados arquitectónicos las estructuras que claramente dejan ver en las obras que están en ejecución que su construcción ha sido muy deficiente, se ha convertido en una alternativa poco ética de algunos profesionales para evitar demoliciones o reparaciones de elementos estructurales que la construcción no han quedado en forma adecuada.

FIGURA 6. EJEMPLO DE PATOLOGÍA POR CONSTRUCCIÓN.



Fuente: Omar Darío Cardona ².

Una estructura fácil de construir, es una estructura que tiene mayores probabilidades de estar bien construida, y por lo tanto de ser más duradera. Además, hay que tener presente que cualquier estructura se comportará ante las solicitaciones que se le hagan, según como haya quedado construida; y por ello, los procesos constructivos deben reflejar lo más fielmente posible (dentro de las tolerancias permisibles), los planos y las especificaciones dadas en las fases de planeación y diseño del proyecto.

En la siguiente figura se puede observar la conformación de esta columna, donde es evidente la ausencia total de control en el manejo de la mezcla de concreto en el momento de la construcción.

FIGURA 7. EJEMPLO DE FALTA DE CONTROL EN EL MANEJO DE LA MEZCLA.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁵.

Hoy en día existen muchos sistemas de construcción de estructuras de concreto reforzado y preesforzado, que en muchos casos demandan una metodología y unos cuidados específicos. Es decir, que debe haber una experiencia previa, unos cuidados y unas calificaciones de la mano de obra, un control de calidad y unas precauciones que permiten obtener la calidad especificada. Sin embargo, las fallas más comunes por los aspectos constructivos se dan por las siguientes causas:

- Por no calcular y diseñar la formaleta.
- Por defectos o deformación de la formaleta.
- Por no respetar las tolerancias dimensionales permisibles en los elementos. Por ejemplo, cambiar las dimensiones de los elementos, lo cual altera su geometría, su inercia y de paso su comportamiento, porque se alteran su centro geométrico y su centro de masa.

- Por no inspeccionar la formaleta antes del vaciado, para verificar su integridad y estabilidad.
- Por no colocar apropiadamente ni asegurar el acero de refuerzo, permitiendo el desplazamiento durante el vaciado.
- Por no respetar la separación de barras y el recubrimiento propuesto en las normas, mediante el uso de separadores adecuados.
- Por no inspeccionar el acero de refuerzo antes del vaciado, para verificar el cumplimiento de los planos y especificaciones.
- Por utilizar malos procedimientos de izaje y montaje de elementos prefabricados, con lo cual se inducen deformaciones no previstas, impactos, u otras condiciones que alteran sus propiedades.
- Por inadecuada interpretación de los planos.
- Por malas prácticas de manejo, colocación y compactación del concreto.
- Por labores de descimbrado prematuro o inapropiado.
- Por indisposición de juntas apropiadas de contracción, dilatación y/o construcción.
- Por no adelantar procedimientos adecuados de protección y curado del concreto.
- Por precargar la estructura antes de que el concreto tenga suficiente capacidad resistente.
- Por picar o abrir huecos en la estructura para soportar o conectar instalaciones anexas a la estructura ⁵.

Hay que tener cuidado en el momento de la construcción de los elementos estructurales, ya que como se puede observar en la siguiente figura cualquier error en columnas y muros, puede ocasionar el colapso de la estructura.

FIGURA 8. EJEMPLO DE COLAPSO POR ERRORES EN CONSTRUCCIÓN.



Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

3.3.1 Informalidad en la Construcción

En algunas construcciones a pesar de tener a la mano una norma idónea, su desconocimiento, la falta de control y en algunos casos de ética profesional ha contribuido en forma significativa a que las estructuras cada vez sean más vulnerables. La práctica de la construcción informal de edificios de Concreto armado no ha sido buena. Desafortunadamente, la informalidad en la construcción se ha fomentado incluso por políticas que han promovido la construcción de varios pisos adicionales sobre los edificios existentes. Sin embargo, hoy en día, se muestra más interés por parte de las curadurías de llevar un estricto control en la ejecución de este tipo de construcciones.

FIGURA 9. EDIFICIO INFORMAL DE SIETE PISOS, QUE ORIGINALMENTE FUERON TRES.



Fuente: Omar Darío Cardona ².

3.3.2 Falta de Recubrimiento

Esta patología, se ve frecuentemente en nuestro medio, y consiste en reducir el espesor del recubrimiento, muchas veces por cuestiones económicas, sin llegar a medir el daño que se le hace a la estructura; ya que el acero queda prácticamente desprotegido y a la intemperie, propenso de ser atacado por diversos agentes externos.

FIGURA 10. ESTRUCTURA EN CONSTRUCCIÓN DONDE SE DETECTA LA FALTA DE RECUBRIMIENTO.



Fuente: Omar Darío Cardona ².

3.3.3 Cimientos

Aunque en muchas de las construcciones que se hicieron antes del código del 84 o de la misma NSR-98, no se habían hecho unos estudios profundos a cerca del área de la Geotecnia, hoy en día cada vez es más relevante y por ello mismo más exigentes los códigos, a cerca de la importancia que tiene este aspecto en el normal funcionamiento de cualquier edificación.

Dentro de la evaluación de daños en estructuras de concreto es importante incluir una examinación de su posición en el terreno y cimentación. Se debe asegurar que la capacidad del suelo por debajo de la cimentación pueda resistir las fuerzas impuestas por un sismo si es el caso, e identificar y evaluar cualquier tipo de peligro geotécnico cercano que pueda afectar la cimentación.

Los elementos de la cimentación de la edificación frecuentemente están ocultos y no se pueden ver a simple vista. Sin embargo, la evaluación no debe permitir que no se tengan datos porque estos están fuera de vista. Afortunadamente, el desempeño de los elementos ocultos frecuentemente puede ser determinado por observación indirecta, buena o mala, de cimentaciones similares en el área local o en edificaciones que pertenezcan al mismo estilo y época. Los cimientos de los muros corridos se diseñan para soportar el peso de toda la estructura de acuerdo con la calidad de los materiales usados y a la capacidad portante del terreno.

Los cimientos presentan los siguientes errores constructivos:

- Un mal drenaje de la zona de construcción, que en suelos arenosos causara fallas por licuefacción.
- Deficiencias de anclaje del refuerzo en las vigas que se interceptan.
- Discontinuidad del cimiento para colocar instalaciones sanitarias.

Las consecuencias de la mala concepción de la capacidad portante del suelo donde esta localizada la construcción son:

- Falta de viga de amarre sobre el cimiento de concreto ciclópeo.
- Dimensiones del cimiento más pequeña que la requerida de acuerdo con la capacidad portante del suelo y a la carga aplicada.
- Fallas por la licuefacción de suelos arenosos.
- Fallas por asentamiento diferenciales del cimiento ⁷.

3.4 PATOLOGIAS POR RIGIDIZACIÓN, CAPACIDAD DE DEFORMACION, Y POR REFORZAMIENTO

Es importante analizar el funcionamiento del concreto teniendo en cuenta aspectos fundamentales en su comportamiento, como los que plantean a continuación, ya que de su óptimo desempeño dependerá que el concreto cumpla con los requisitos exigidos por las normas, en el transcurso de su vida útil.

Es necesario mencionar algunas características de las patologías a estudiar:

- La rigidez es la capacidad para resistir una deformación en el rango lineal.

- Es conveniente evitar grandes deformaciones que puedan impedir que la estructura cumpla el propósito para el cual se concibió.
- El acero es el complemento del concreto, ya que le permite incrementar su resistencia, dándole cualidades especiales que lo hacen más compacto.

3.4.1 Patología por Rigidización

Cuando se presenta algún daño en este sentido, una estrategia común consiste en aumentar su resistencia y su rigidez, para lograr menores desplazamientos. El incremento en rigidez ocasiona un incremento en el cortante basal, por lo tanto la rigidización debe ser cuidadosamente estudiada.

Una alta rigidización del edificio puede traer consigo una alta disminución en la capacidad de disipar energía de la estructura y elevadas fuerzas internas sobre los elementos y sobre la cimentación. Adicionalmente, no es conveniente introducir en una estructura muros que ocupen solo parcialmente una luz.

Al apreciar la incidencia típica que tiene una alternativa de rehabilitación de aumentar la resistencia y la rigidez de la estructura sobre la curva de capacidad y la curva de demanda, se observa que el efecto de la rigidización y el reforzamiento afecta únicamente la curva de capacidad elevando su pendiente inicial y su capacidad de resistencia. La curva de demanda presenta una muy leve afectación.

3.4.2 Patología por Capacidad de Deformación

En muchos casos el problema de la edificación no es ni su rigidez, ni su resistencia, sino su capacidad de deformación debido a que se pueden presentar fallas prematuras en ciertos elementos de la estructura como a cortante en columnas y/o en losas planas antes de poder desarrollar toda la capacidad de carga de la estructura.

La capacidad de deformación se puede incrementar por ejemplo, garantizando el comportamiento inelástico de los componentes, eliminando un piso débil o evitando rigideces concentradas locales que ocasionen columnas cortas o torsión en el diafragma. Sin embargo, el aumento de la capacidad de deformación es solo viable económicamente en casos en los cuales se deban intervenir pocos elementos.

La deriva es el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos, de la edificación.

Los daños principales ocasionados por la deriva son:

- Derivas máximas por carga lateral última de valor máximo en la dirección transversal y en la dirección longitudinal, superiores al valor admisible de 1.0%.
- Derivas máximas por carga lateral para el umbral de daño de valor máximo en la dirección transversal y en la dirección longitudinal, superiores al valor admisible de 0.3%.

3.4.3 Patologías por Reforzamiento

En la obra los empalmes deben localizarse únicamente como lo indiquen o permitan los planos de diseño o las especificaciones, y sólo se permiten variaciones cuando las autorice el Ingeniero Diseñador. Se debe tener cuidado de no cometer los siguientes errores en el proceso de traslapo y que pueden causar serios daños en el acero de refuerzo:

- Los empalmes por traslapo de barras individuales dentro de un paquete no deben superponerse.
- El paquete en su totalidad no puede empalmarse por traslapo en un mismo punto.
- No se debe hacer empalmes en la zona correspondiente a nudos, ya que estos elementos deben ser muy rígidos.

FIGURA 11. DEFICIENTE DETALLADO DEL REFUERZO, FALTA DE ANCLAJE Y DE ADHERENCIA.



Fuente: Omar Darío Cardona ².

El despiece constituye el medio mediante el cual se aportan la resistencia y ductilidad a los elementos estructurales para garantizar la mejor respuesta durante el sismo. Gran parte de las edificaciones proyectadas y construidas hasta hace aproximadamente 25 años en territorio nacional, se realizaron con criterios distintos a los que el avance del conocimiento ha permitido para mejorar las condiciones de respuesta de las edificaciones en caso de situaciones críticas. Por tal razón, en algunas de esas edificaciones afectadas, se aprecia la naturaleza de los daños provenientes de despieces especialmente en los nudos por ser los lugares de mayor requerimiento de liberación de la energía de deformación de la estructura ⁸.

3.5 PATOLOGIAS POR CONFIGURACIÓN GEOMETRICA Y ESTRUCTURAL

Preferiblemente, una estructura debe tener un sistema completo de resistencia garantizando que reaccione a eventuales problemas de debilidad como un conjunto y tenga trayectorias de cargas claras y redundantes. El comportamiento estructural de un sistema desligado y con irregularidades locales no es conveniente, teniendo en cuenta que las acciones sobre algunos componentes pueden ser notoriamente elevadas, mientras en otros pueden ser muy bajas. Los sistemas con irregularidades son por lo general descompensados, ya que es posible que solo una parte de la estructura sea esforzada conllevando a eventuales fallas locales.

Por configuración no se entiende la mera forma espacial de la construcción en abstracto, sino el tipo, disposición, fragmentación,

resistencia y geometría de la estructura de la edificación, relación de la cual se derivan ciertos problemas de respuesta estructural ante daños por cargas o agentes externos.

Dada la naturaleza de los daños que se podrían presentar, así como la posibilidad de que se exceda el nivel de diseño, es aconsejable evitar el planteamiento de configuraciones riesgosas, independientemente del grado de sofisticación que sea posible lograr en el análisis de cada caso.

La experiencia ha demostrado que la configuración de la edificación y su estructuración juegan un papel muy importante en el diseño a solicitaciones de daño intensas. Los estudios analíticos confirman las observaciones de campo según las cuales, edificaciones irregulares dan lugar a elevadas demandas localizadas de resistencia y/o ductilidad; esto conduce a una respuesta inadecuada, a menudo de consecuencias catastróficas, ya que la estructura portante no alcanza a desarrollar íntegramente su capacidad portante.

FIGURA 12. EJEMPLOS DE PATOLOGÍA POR CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA.





Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

Se debe realizar un estudio detallado de las rutas críticas de carga dentro de la estructura para no llevar a cabo evaluaciones inadecuadas que conduzcan a premisas falsas sobre el comportamiento estructural. Las fallas estructurales que se presentan en una edificación con un sistema de resistencia incompleto se deben principalmente a: Inadecuados elementos colectores en los diafragmas, uniones frágiles o inestables, falta de longitud de anclaje del refuerzo longitudinal, inestabilidad en componentes no estructurales y juntas de dilatación insuficientes. Todos estos problemas pueden ocasionar fallas locales que impiden el comportamiento inelástico y por tanto fallas prematuras por inestabilidad.

Por ejemplo, los muros de mampostería no estructurales se construyen comúnmente ligados a los pórticos de la estructura y pueden producir modos torsionales prematuros y sobrecargas en las columnas. Además es posible que presenten inestabilidades locales, cuando el muro es expuesto a fuerzas perpendiculares a su plano poniendo en riesgo la vida de las personas. En conclusión, se deben estudiar cuidadosamente todas las irregularidades que se puedan presentar en la estructura para proceder a eliminarlas ⁹.

Las técnicas de reparación más comunes que se emplean para garantizar la integridad del sistema son:

- Anclar los elementos no estructurales mediante columnetas o elementos de acero.
- Eliminar o crear juntas de edificios irregulares: Las juntas de dilatación pueden ser insuficientes y producir problemas de “golpeteo” de los edificios. Por otra parte, en algunas ocasiones, cuando se necesita rehabilitar una estructura conformada por bloques construidos en años diferentes es más conveniente económicamente, eliminar las juntas de dilatación y rehabilitar el conjunto, que realizar rehabilitaciones locales.
- Reforzar las uniones y los anclajes de los elementos: Cuando las longitudes de los anclajes del refuerzo es insuficiente, se pueden producir fallas en los extremos del elemento antes de que este desarrolle su capacidad. Estos miembros se pueden reparar mediante la construcción de elementos en acero o la introducción de preesfuerzo local para garantizar el anclaje o evitar la inestabilidad del componente.
- Demoler o construir elementos para eliminar irregularidades ¹⁰.

3.5.1 Configuración Geométrica

Debe hacerse énfasis en que, debido a su complejidad, y a su estrecha relación con el planteamiento de espacio y forma de la construcción, los problemas de configuración deben ser enfrentados básicamente desde la

etapa de definición del esquema espacial del edificio, y en toda la etapa de diseño.

3.5.1.1 Problemas de Configuración en Planta

La forma geométrica de la planta ha sido considerada de gran importancia en el comportamiento resistente de las edificaciones. Estas plantas de formas irregulares generalmente sufren más daño ante las acciones de cargas intensas que aquellas de formas regulares. Plantas triangulares, generalmente ubicadas en parcelas de la misma forma, conducen a distribuciones de rigidez asociadas a fuertes torsiones. Los extremos de plantas con entrantes pronunciados, con formas en U, C ó H, tienden a responder de modo independiente al resto de la edificación creando esfuerzos adicionales no previstos. Ejemplos de otras plantas irregulares son aquellas en forma de: “+”, “H”, “T”.

Las plantas irregulares generalmente se utilizan debido a la necesidad de aumentar las áreas de fachadas con el objeto de proveer mayores áreas para ventilación e iluminación naturales. Estas formas de planta se utilizan principalmente para edificaciones de vivienda, escuelas, hoteles y muy frecuentemente en hospitales. Para los problemas de configuración en las plantas que son continuas, algunas que a simple vista se pueden percibir como complejas y que cuentan con las respectivas juntas de dilatación no presentan problemas para el comportamiento frente a cargas no previstas.

Durante la acción de cargas extremas, las placas de entrepiso se desplazan en su plano en diversas direcciones de acuerdo con la rigidez

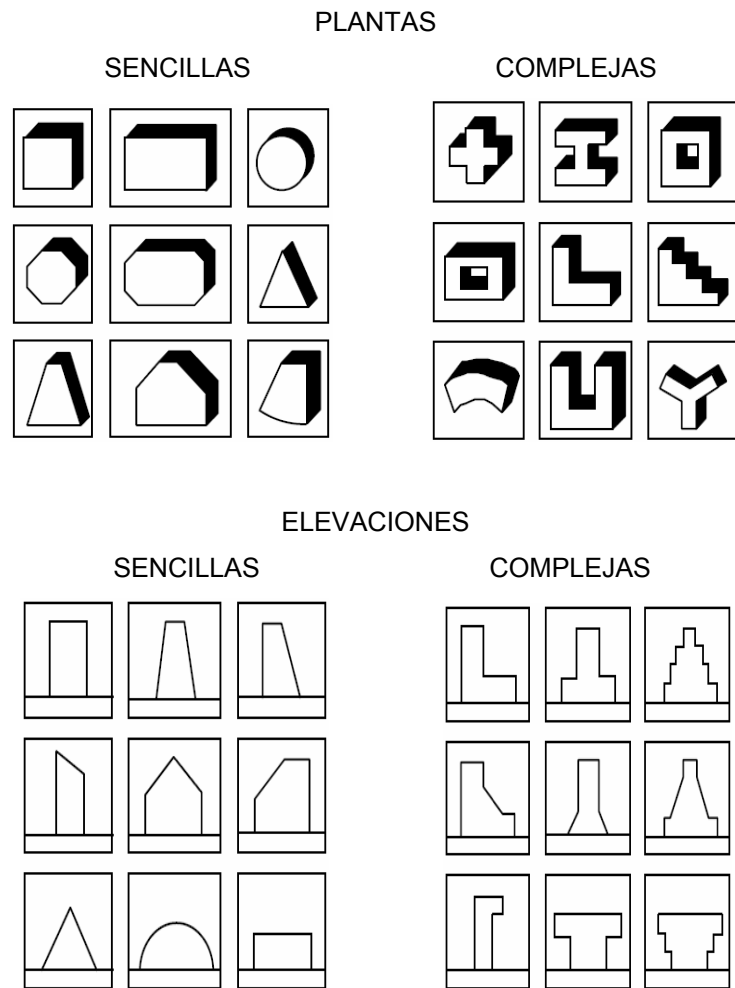
que le impone la estructura donde se soporta. De ahí la necesidad de hacer coincidir el centro de masa con el centróide de la configuración geométrica de la placa. Cuando tal situación no se garantiza, se produce efectos de torsión en planta que causan daños a veces irreparables en las columnas.

Posibles Soluciones:

- Interconectar estructuralmente los diferentes bloques de la edificación: Tiene como objetivo reducir los daños que se pueden presentar en las uniones de los diferentes bloques y evitar las deflexiones que se pueden ocasionar en los entrepisos o diafragmas.

- Separar estructuralmente la edificación en bloques regulares: Con esta solución, el problema de la esquina entrante se elimina, pero este enfoque implica la utilización de juntas, lo cual implica otra serie de dificultades que deben ser estudiadas cuidadosamente. Cada bloque rectangular debe ser estudiado independientemente para analizar el comportamiento y la capacidad para resistir las fuerzas horizontales y verticales. Posteriormente se debe estudiar, el conjunto de bloques para determinar como se moverían, al estar uno al lado del otro, en un mismo momento, y cómo podrían afectarse unos a otros ¹¹.

FIGURA 13. PLANTAS Y ELEVACIONES.



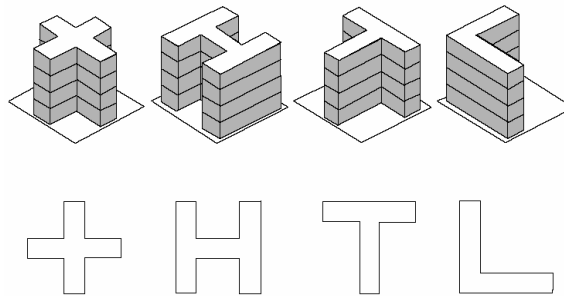
Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

Este problema surge en edificios denominados de plantas complejas y es muy común en edificaciones hospitalarias. Se define como planta compleja a aquella en la cual la línea de unión de dos de sus puntos suficientemente alejados hace su recorrido en buena parte fuera de la planta. Esto se da cuando la planta está compuesta de alas de tamaño significativo orientadas en diferentes direcciones (formas en H, U, L, etc.).

En las plantas irregulares las alas pueden asimilarse a un voladizo empotrado en el cuerpo restante del edificio, sitio en el cual sufriría menores deformaciones laterales que en el resto del ala. Por esta razón

aparecen grandes esfuerzos en la zona de transición, los cuales producen con frecuencia daños en los elementos no estructurales, en la estructura vertical y aun en el diafragma de la planta ⁶.

FIGURA 14. FORMAS MÁS COMUNES DE LAS PLANTAS.



Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

Para este caso, la solución corrientemente adoptada consiste en la introducción de juntas de dilatación, como las mencionadas para el caso de los edificios largos. Estas juntas permiten que cada bloque tenga su propio movimiento sin estar atado al resto del edificio, con lo cual se rompe el esquema de trabajo en voladizo de cada ala. Las juntas, obviamente, deben tener el ancho suficiente para permitir el movimiento de cada bloque sin golpearse.

FIGURA 15. HOSPITAL DE CALDAS EN COLOMBIA.



Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

3.5.1.2 Longitud

La longitud en planta de una construcción influye en la respuesta estructural de la misma de una manera que no es fácil determinar por medio de los métodos usuales de análisis. En vista de que el movimiento del terreno consiste en una transmisión de ondas, la cual se da con una velocidad que depende de las características de masa y rigidez del suelo de soporte, la excitación que se da en un punto de apoyo del edificio en un momento dado difiere de la que se da en otro, diferencia que es mayor en la medida en que sea mayor la longitud del edificio en la dirección de las ondas. Los edificios cortos se acomodan más fácilmente a las ondas que los edificios largos. El correctivo usual para el problema de longitud excesiva de edificios es la partición de la estructura en bloques por medio de la inserción de juntas de dilatación, de tal manera que cada uno de ellos pueda ser considerado como corto. Estas juntas deben ser diseñadas de manera tal que permitan un adecuado movimiento de cada bloque sin peligro de golpeteo o choque entre los diferentes cuerpos o bloques que componen la edificación.

Los edificios largos son también más sensibles a las componentes torsionales de los movimientos del terreno, puesto que las diferencias de movimientos transversales y longitudinales del terreno de apoyo, de las que depende dicha rotación, son mayores.

3.5.1.3 Problemas de Configuración en Altura

Cambios bruscos en la distribución vertical de masas, resistencia o rigidez, conducen a situaciones altamente vulnerables a cargas extremas. El tanque de almacenamiento de agua en el último nivel en

algunos edificios, probablemente puede ser el causante de fallas en columnas.

La geometría en altura está determinada por las propiedades geométricas verticales de la edificación, las cuales se definen por la forma exterior del volumen, determinadas por las siguientes propiedades geométricas: dimensiones de los escalonamientos o retrocesos, la simetría y las proporciones de cada uno de los volúmenes que se forman ¹².

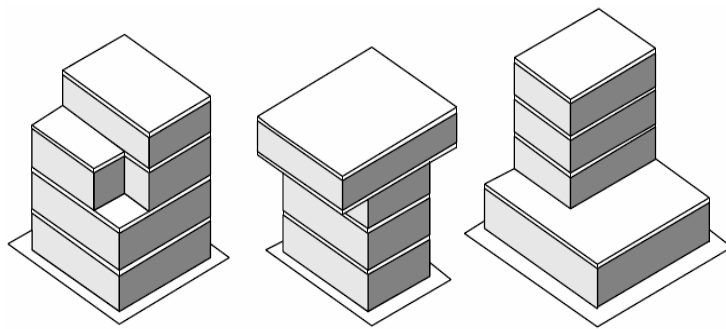
Los retrocesos constituyen, hoy en día, una de las irregularidades más comunes en las edificaciones y consisten en la variación brusca entre las dimensiones de las plantas de pisos contiguos en una edificación. El retroceso consiste en un desplazamiento horizontalmente de algún o algunos, piso o pisos con relación al plano vertical exterior vertical de la edificación. Al igual que ocurre en las plantas irregulares, cuando se incorporan los retrocesos en la edificación se originan también volúmenes con características dinámicas diferentes entre ellos, lo que genera concentraciones de esfuerzos en las zonas en que se producen los cambios de sección o uniones entre los volúmenes. Las asimetrías en altura pueden generar fuerzas torsionales en la estructura, lo cual hace más difícil su análisis.

Otra condición que puede hacer más vulnerable a una edificación debido a la configuración geométrica en altura, consiste en la Esbeltez. Este aspecto se presenta cuando en la relación de las dimensiones generales de la edificación, domina la altura con relación al ancho y a la profundidad.

Recomendación: Cuando debido a un retroceso en fachada, se produzca una discontinuidad en el alineamiento de los elementos verticales del sistema de resistencia, deben cumplirse los requisitos establecidos en el artículo A.3.6.12 de la NSR – 98 ¹³.

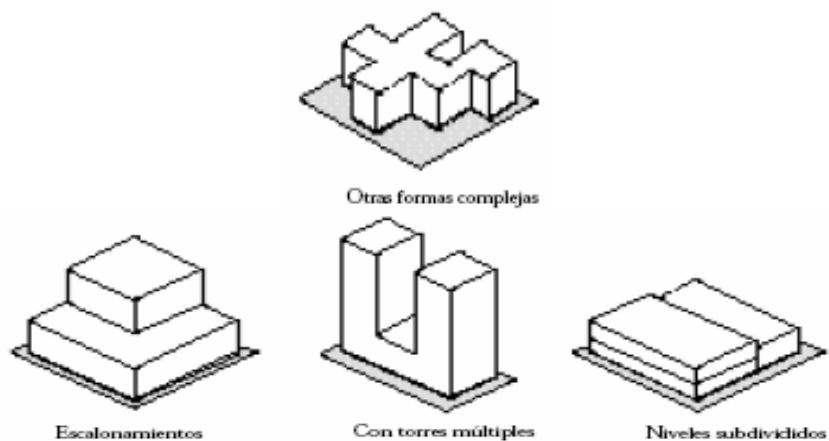
FIGURA 16. FORMAS IRREGULARES EN ALTURA.

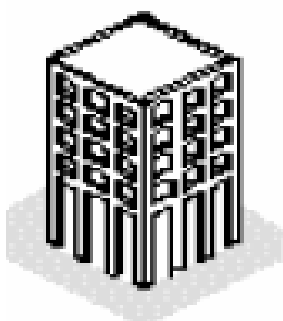
Formas Irregularidades en Altura



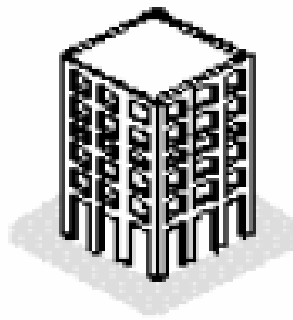
Irregularidades en estructuras

A. Edificios con configuración irregular

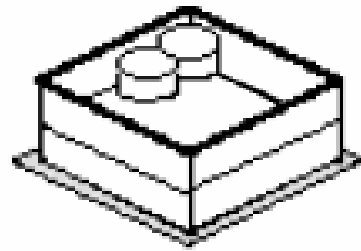




Planta baja inusualmente alta

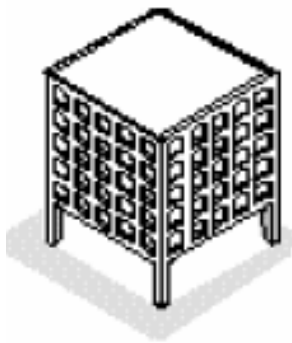


Piso inusualmente bajo

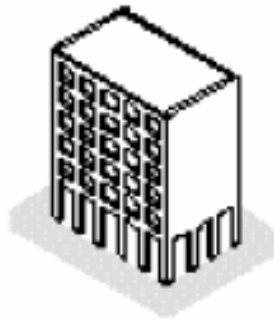


Apariencia exterior uniforme, pero con distribución de masa no uniforme, o viceversa

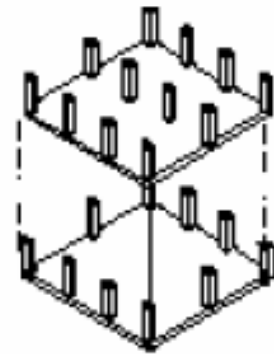
B. Edificios con cambios abruptos en su resistencia lateral



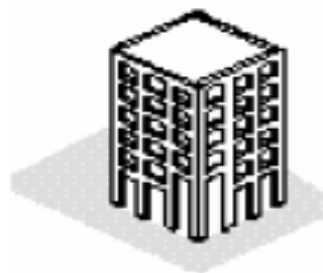
Niveles inferiores débiles



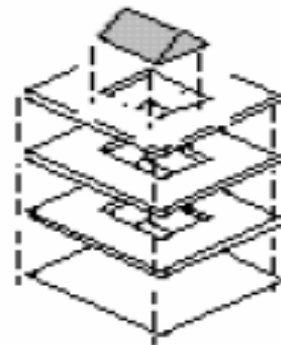
Grandes aberturas en los muros resistentes al esfuerzo cortante



Con columnas interrumpidas



Con vigas interrumpidas

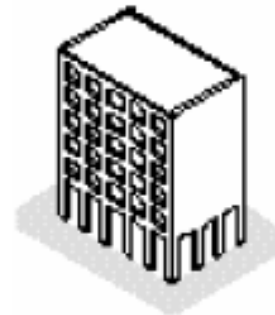


Aberturas en diafragmas

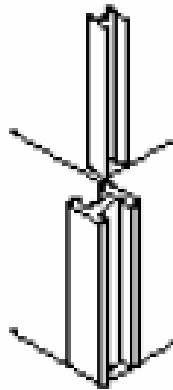
C. Edificios con cambios abruptos en su rigidez lateral



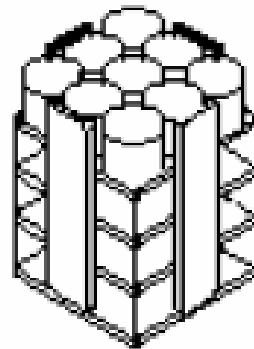
Muros resistentes al cortante en algunos pisos, marcos resistentes al momento en otros



Grandes aberturas en los muros resistentes al esfuerzo cortante

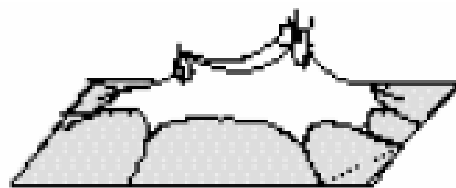


Cambios abruptos en el tamaño de los miembros



Cambios drásticos en la relación masa/rigidez

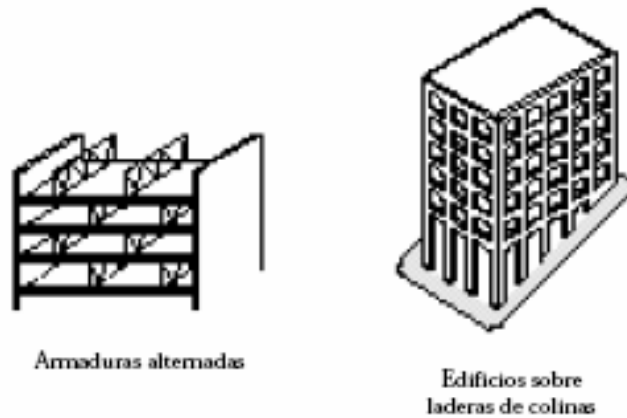
D. Aspectos estructurales inusuales o novedosos



Estructuras soportadas por cables



Cascarones



Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

3.5.1.4 Escalonamientos

FIGURA 17. EJEMPLO DE EDIFICIO ESCALONADO.



Fuente: Jose Grases ³.

Los escalonamientos en los volúmenes del edificio se presentan habitualmente por exigencias urbanísticas de iluminación, proporción, etc. Sin embargo, desde el punto de vista de los daños que podrían presentar, los escalonamientos son causados por cambios bruscos de rigidez y de

masa; por lo tanto, traen consigo la concentración de fuerzas que producen daño en los pisos adyacentes a la zona del cambio brusco. En términos generales, debe buscarse que las transiciones sean lo más suave posible con el fin de evitar dicha concentración ¹⁴.

3.5.2 Configuración Estructural

Es importante darle la relevancia que requiere a esta Patología, debido a que la mala distribución de los elementos estructurales, puede ocasionar problemas de orden arquitectónico, de sobre carga en la estructura y por último siendo quizás el más importante, los sobrecostos de la construcción de elementos que en ocasiones no son necesarios.

FIGURA 18. MALA CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE ENTRAMADOS QUE FORMAN PÓRTICOS.



Fuente: Omar Darío Cardona ².

3.5.2.1 Patologías en Columnas

Las columnas ubicadas en la planta baja son las más afectadas, dado que tienen que soportar todo el peso de la edificación y evitar que se desplace, quedando sometidas a fuertes momentos y cortantes, por lo que se les debe prestar mayor atención durante su evaluación y ejecución.

La parte superior de las columnas es la más afectada en el caso de presentarse por ejemplo, un movimiento sísmico, ya que en esa zona el concreto suele tener menor resistencia, debido a que en su ejecución durante el vibrado se acumula en la parte alta el árido fino y agua de amasado, siendo más acusado este efecto en columnas de mayor altura.

Las columnas más vulnerables son las de esquinas en planta baja, seguidas de las de fachadas. El tipo de rotura más frecuente es por aplastamiento del concreto en la cabeza de la columna y por cortante con fisuras.

3.5.2.2 Concentraciones de Masa

El problema en cuestión es ocasionado por altas concentraciones de la masa en algún nivel determinado del edificio que se puede deber a la disposición en él, de elementos pesados tales como equipos, tanques, bodegas, archivos, etc. El problema es mayor en la medida en que dicho nivel pesado se ubica a mayor altura, ya que hay una mayor posibilidad de volcamiento del equipo.

Por lo anterior, en el diseño arquitectónico es recomendable disponer los espacios que representen pesos inusuales en sótanos o en construcciones aisladas aledañas al cuerpo principal del edificio. En casos en los que por razones topográficas se deba tener almacenamientos de agua elevados, debe preferirse construir torres independientes para ese fin, en lugar de adosarlas al edificio principal.

FIGURA 19. EJEMPLO DE CONCENTRACIONES DE MASA.



Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

Concentraciones de masa, tales como estanques de agua en el techo de hospitales pueden producir daños que comprometan el funcionamiento de la edificación.

3.5.2.3 Columnas Débiles

Las columnas dentro de una estructura tienen la vital importancia por ser los elementos que transmiten las cargas a las cimentaciones y mantienen en pie a la estructura, razón por la cual cualquier daño en este tipo de elementos puede provocar una redistribución de cargas entre los elementos de la estructura y traer consigo el colapso parcial o total de una edificación.

Un daño típico causado por los agentes causantes de falla se presenta en los elementos de esquina, especialmente de las columnas. Aunque aparentemente un edificio puede tener una forma geométrica regular en planta, la distribución de los elementos de resistencia verticales (Columnas y Muros) determina su simetría en rigidez.

La no coincidencia entre el centro de masa y el centro de rigidez, ocasionan un giro en planta del edificio, lo cual produce desplazamientos adicionales proporcionales a la distancia de cada elemento al punto de giro. Mientras mayor excentricidad exista, los elementos de esquina estarán sometidos a mayores demandas de ductilidad, ya que deben resistir mayores deformaciones, incursionando en el rango inelástico y degradando su rigidez hasta llegar a la falla.

Por lo anterior, el diseño debe buscar que el daño se produzca en vigas y no en columnas, debido al mayor riesgo de colapso del edificio por el daño en columnas. A pesar de esto, muchos edificios diseñados según códigos han fallado por esta causa.

Columnas Cortas:

Es un efecto que se produce en las columnas de una estructura cuando un elemento superficial como un muro de concreto coarta la posibilidad de deformación de la columna en parte de su longitud. Esta coacción produce tensiones adicionales no previstas en el cálculo que hacen que la columna se fisure o llegue incluso a la rotura total.

FIGURA 20. EJEMPLOS DE COLUMNA CORTA.





Fuente: Teresa Guevara ¹².

El efecto de columna corta es producido por las paredes altas de mampostería sobre las que se apoyan ventanas que van, en horizontal, de una columna a otra y en vertical, generalmente desde la pared hasta la viga o el techo. El confinamiento de una parte de la columna por las paredes rígidas altas, lo cual generalmente no se consulta con el ingeniero estructural, hace que paredes y columna confinada trabajen conjuntamente como un muro rígido y la parte de la columna que queda libre para la ubicación de las ventanas, trabajará como una pequeña columna la cual recibirá la mayoría de la carga para la cual fue calculada la columna completa.

Al disminuir la longitud efectiva de la columna, los cortantes que acompañan los momentos flectores en cada extremo del elemento se amplifican, haciendo pasar el modo de falla prevaleciente de flexión a uno de corte (frágil). El resultado es el agrietamiento en "X", con la consecuente pérdida en rigidez y resistencia de la sección, que inclusive puede llegar a colapsar cuando se induce varios ciclos de esfuerzos alternados en la estructura.

Esta configuración se presenta generalmente en las aulas de las escuelas, donde se requiere de iluminación y ventilación naturales, pero trae como consecuencia que los estudiantes se distraigan mirando hacia fuera desde las aulas.

Recomendación: Estudiar cuidadosamente la solución arquitectónica de paredes y ventanas y la unión de estos componentes a la estructura, de manera tal que no modifiquen el comportamiento resistente previsto por el ingeniero estructural.

En la NSR-98, Capítulo A.9.5.2 muy claramente establece:

“Ciertos tipos de interacción entre los elementos no estructurales y la estructura de la edificación deben evitarse a toda costa. Dentro de este tipo de interacción se encuentra el caso de las “columnas cortas” o columnas cautivas en las cuales la columna está restringida en su desplazamiento lateral por un muro no estructural que no llega hasta la losa de entrepiso en su parte superior. En este caso el muro debe separarse de la columna, o ser llevado hasta la losa de entrepiso en su parte superior, si se deja adherido a la columna”.

Un caso típico se observa en los semisótanos. Las columnas están parcialmente “embutidas” en los muros de sótano salvo en su parte superior, que es donde normalmente se coloca una ventana estrecha y alargada para iluminar y ventilar, generalmente en esta zona la columna se fisura o incluso se llega a romper. Varias son las causas de que el valor de la longitud libre se reduzca drásticamente y se considere que se presenta una columna corta:

- Confinamiento lateral parcialmente en la altura de la columna por muros divisorios, muros de fachada, muros de contención, etc.
- Disposición de losas en niveles intermedios.
- Ubicación del edificio en terrenos inclinados.

Las columnas cortas son causa de serias fallas en edificios bajo sollicitaciones a esfuerzos laterales debido a que su mecanismo de falla es frágil.

3.5.2.4 Pisos Débiles, Suaves o Blandos

Si las particiones interiores de un edificio entran a soportar cargas no previstas en el diseño, y colaboran con la estructura para resistir sus efectos sin haber sido calculados para absorber la fuerza que les corresponda en función de su rigidez, el comportamiento de la estructura será muy distinto al supuesto en el proyecto. Un caso particular es el llamado "piso blando". Se produce en aquellos edificios que teniendo una distribución de particiones interiores más o menos similar en todas sus plantas, una de ellas se presenta diáfana.

Los cambios bruscos de resistencia y rigidez producen una respuesta pobre de la estructura. Cuando se tienen pisos con marcadas diferencias de rigidez y resistencia en sus elementos respecto del resto de la estructura, la respuesta del edificio a cualquier patología queda dominada por esos pisos flexibles. Se presenta entonces un comportamiento en el cual la porción de edificio sobre el piso flexible se desplaza como un cuerpo rígido, y toda la deformación deber ser absorbida por el piso débil.

FIGURA 21. FALLA EN PLANTA BAJA POR PISO SUAVE.





Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

Al ocurrir una sobrecarga, las fuerzas producidas en la edificación tienden a distribuirse mediante un patrón uniforme y continuo. Si la estructura presenta una porción más flexible debajo de una porción más rígida, la mayoría de la energía será absorbida por la porción inferior más flexible y muy poco será absorbido por la superior más rígida. Cualquier deformación en la edificación debido a las fuerzas inducidas por algún

agente externo, tenderán a concentrarse en el piso más flexible, produciéndose mayores daños en éste.

La reducción en rigidez y resistencia viene acompañada de grandes deformaciones inelásticas, imponiendo demandas de ductilidad a las columnas más allá de su capacidad. Es el típico caso de las losas de transición en edificaciones de mampostería, o los pisos libres para parqueaderos y zonas sociales en el nivel de acceso de la calle, los cuales requieren espacios más amplios, libres, total o parcialmente de tabiquería interior, es una de las causas principales para utilizar esta configuración ¹⁰.

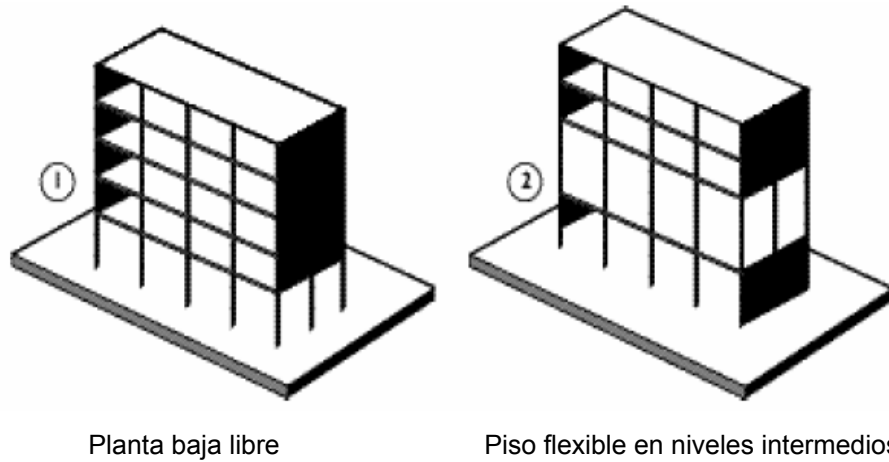
Es un caso típico que puede darse en edificios residenciales con abundante compartimentación en todas sus partes menos en la baja, que suele estar destinada a garaje o locales comerciales. Varios tipos de esquemas arquitectónicos y estructurales conducen a la formación de los llamados pisos débiles o suaves, es decir, pisos que son más vulnerables al daño que los restantes, debido a que tienen menor rigidez, menor resistencia o ambas cosas a la vez.

FIGURA 22. COLAPSO DE EDIFICIO CON PISO FLEXIBLE PARA PARQUEO.



Fuente: Teresa Guevara ¹².

FIGURA 23. EJEMPLOS DE EDIFICIOS CON IRREGULARIDAD TIPO "PISO FLEXIBLE".



Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

El primer caso de la figura anterior se da frecuentemente por la búsqueda de volúmenes mayores en ciertos niveles de la construcción, generalmente por razones técnicas (exigencias de equipos, etc.) o estéticas simbólicas (imagen del edificio en los niveles de acceso, etc.). Esto conduce a que en los pisos en cuestión se presente un debilitamiento de la rigidez, debido a la mayor altura de los elementos verticales.

FIGURA 24. INTERRUPCIÓN DE MURO ESTRUCTURAL EN LA PLANTA BAJA.



Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

La interrupción de elementos verticales de la estructura ha probado ser la causa de múltiples colapsos parciales o totales en edificios, sobre todo cuando la interrupción de los elementos verticales resistentes (muros y columnas) se presenta en los pisos inferiores.

FIGURA 25. COLAPSO ESTRUCTURAL DEBIDO A LA DISCONTINUIDAD DE ELEMENTOS VERTICALES.



Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

La razón del deslizamiento del piso recae en que el nivel en que se interrumpen los elementos es más flexible que los restantes, con lo que aumenta el problema de estabilidad, pero además porque se origina un cambio brusco de rigidez que ocasiona una mayor acumulación de energía en el piso más débil.

Los casos más usuales de interrupción de elementos verticales, que ocurre generalmente por razones espaciales, formales o estéticas, son los siguientes:

- Interrupción de las columnas.

- Interrupción de muros estructurales (muros de cortante).
- Interrupción de muros divisorios, concebidos erróneamente como no estructurales, alineados con pórticos.

Recomendación: En caso de que la solución arquitectónica requiera inevitablemente un piso parcial o totalmente abierto, o una altura de entrepiso mayor que la de los otros pisos, lo cual podría generar un piso flexible, el arquitecto debe trabajar en coordinación con el ingeniero estructural para garantizar que la solución seleccionada cumpla con los requisitos exigidos en los tipos de irregularidad 1A y 2A de la tabla A. 3-7 y en la figura A. 3-2 de la NSR-98 ¹⁵.

3.5.3 Falta de Redundancia

El diseño estructural contempla la posibilidad de daño de los elementos estructurales para determinada clase de patología. Desde este punto de vista, el diseño de la estructura debe buscar que la resistencia dependa de un número importante de elementos, puesto que cuando se cuenta con un número reducido de elementos (poca redundancia) la falla de alguno de ellos puede tener como consecuencia el colapso parcial o total durante el sismo. En este sentido, debe buscarse que la resistencia se distribuya entre el mayor número de elementos estructurales posibles.

3.5.4 Flexibilidad y Conexiones

El nudo o diafragma es el elemento estructural más importante en el momento de la exigencia ante cualquier daño, por lo tanto debe tener un

confinamiento adecuado. En la siguiente grafica se encuentran evidentes fallas en el diseño y en el adecuado reforzamiento de estos puntos que son vitales para garantizar la solidez y continuidad de la estructura.

FIGURA 26. EJEMPLOS DE DAÑOS EN DIAFRAGMAS.





Fuente: Teresa Guevara ¹².

Flexibilidad del Diafragma y Juntas

Si pudiera verificarse que las juntas y elementos en las partes superiores de las estructuras no experimentan grandes deformaciones inelásticas, aun cuando sean sometidas a grandes cargas externas, entonces los estrictos detalles en estas juntas podrían resultar innecesarios. El no tener que reforzar estas juntas en edificios que van a ser rehabilitados, o el poder construir edificios nuevos con detalles menos estrictos en las áreas donde se espera menor respuesta inelástica podría resultar en una reducción de costos considerable.

Para identificar las juntas que no llegan al régimen inelástico, el diseñador necesita realizar un análisis dinámico en el dominio del tiempo considerando las propiedades no lineales del Concreto. En la práctica de la ingeniería no es común, ni tampoco práctico para un diseñador realizar a menudo este tipo de análisis. Por lo tanto es necesario estudiar los patrones de articulaciones plásticas en pórticos de Concreto, para

establecer si se puede desarrollar un procedimiento simple para determinar qué juntas no requieren diseño aún en regiones de alto riesgo.

Debido al control de desplazamientos relativos en los códigos, los edificios diseñados para una resistencia menor a cargas laterales son más flexibles. Por lo tanto, a continuación el término “más flexible” se refiere a los edificios diseñados para cargas laterales menores y viceversa, aunque en realidad más flexible no necesariamente implica menos resistencia ¹⁶.

La placa de piso es el elemento encargado de brindar una interconexión rígida entre los elementos verticales de resistencia del edificio, y de transmitir las fuerzas inerciales a cada uno de ellos. Dicha transmisión de fuerzas produce fuerzas de corte y flexión en el diafragma, que en la medida en que sea más rígido y regular, las puede soportar sin problema. Sin embargo, la presencia de grandes vacíos, entrantes y esquinas pronunciadas, generan concentraciones de esfuerzos que afectan la capacidad del diafragma para transmitir y soportar el cortante.

Figura 27. CAÍDA DE MUROS DE FACHADA POR FLEXIBILIDAD DE LA ESTRUCTURA.



Fuente: Omar Darío Cardona ².

Excesiva flexibilidad estructural

La excesiva flexibilidad de la edificación ante cargas extremas puede definirse como la susceptibilidad a sufrir grandes deformaciones laterales entre los diferentes pisos, conocidas como derivas. Las principales causas de este problema residen en la excesiva distancia entre los elementos de soporte (claros o luces), las alturas libres y la rigidez de los mismos.

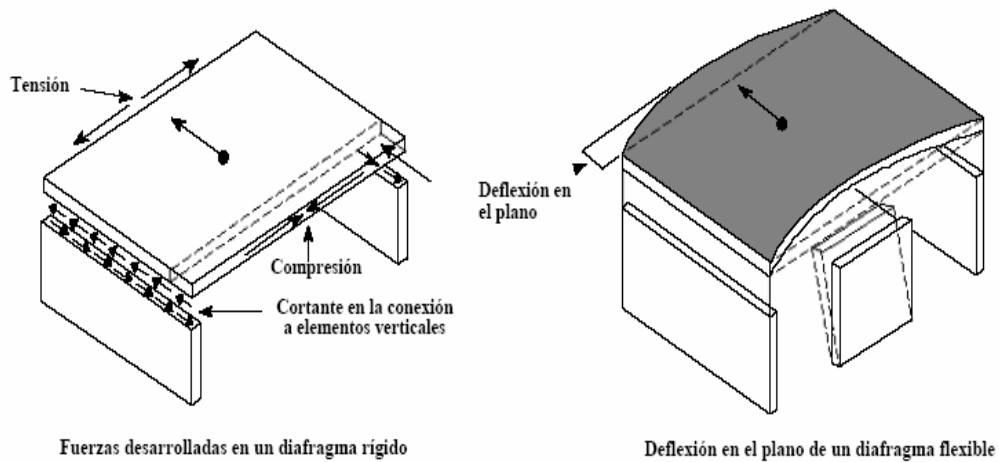
Dependiendo de su grado, la flexibilidad puede traer como consecuencias:

- Daños en los elementos no estructurales adosados a niveles contiguos.
- Inestabilidad del o los pisos flexibles, o del edificio en general.
- No aprovechamiento de la ductilidad disponible.

Excesiva flexibilidad del diafragma

Un comportamiento excesivamente flexible del diafragma de piso implica deformaciones laterales no uniformes, las cuales son en principio perjudiciales para los elementos no estructurales adosados al diafragma. Adicionalmente, la distribución de fuerzas laterales no se hará de acuerdo a la rigidez de los elementos verticales.

FIGURA 28. COMPORTAMIENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE DEL DIAFRAGMA.



Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

Son varias las razones por las cuales puede darse este tipo de comportamiento flexible. Entre ellas se encuentran las siguientes:

- Flexibilidad del material del diafragma.
- Relación de aspecto (largo/ancho) del diafragma:

Por tratarse de un trabajo a flexión de este tipo de elementos, mientras mayor sea la relación largo / ancho del diafragma, mayores pueden ser sus deformaciones laterales. En general, los diafragmas con relaciones de aspecto superiores a cinco, pueden considerarse flexibles.

- Rigidez de la estructura vertical:

La flexibilidad del diafragma debe juzgarse también de acuerdo con la distribución en planta de la rigidez de los elementos verticales. En el caso extremo de un diafragma en el que todos los elementos verticales tengan igual rigidez es de esperarse un mejor comportamiento del diafragma que en el caso en el cual tengan grandes diferencias en este punto.

➤ Aberturas en el diafragma:

Las aberturas de gran tamaño practicadas en el diafragma para efectos de iluminación, ventilación y relación visual entre los pisos, ocasionan la aparición de zonas flexibles dentro del diafragma, las cuales impiden el ensamblaje rígido de las estructuras verticales.

Las soluciones al problema de excesiva flexibilidad del diafragma son múltiples, y dependen de la causa que la haya ocasionado. Las grandes aberturas en el diafragma deben estudiarse con cuidado, con el fin de proveer mecanismo de rigidización o, si esto no es posible, segmentación del edificio en bloques.

Conexiones

Las principales funciones de las conexiones son las siguientes:

- Soporte lateral de las paredes que están perpendicular a la dirección del sismo.
- Transferencia de cortante desde el diafragma a los muros de cortante y otros elementos estructurales que se encuentran paralelos a la dirección del sismo.
- Anclaje de muros y columnas a la cimentación.
- Interconexión de elementos donde la falta de unión puede colocar en peligro el sistema resistente.

Anclaje para fuerzas normales

Los muros que no están bien anclados al diafragma, puede separarse del resto de la estructura y colapsar durante una sollicitación extrema. Si estos

muros son de carga, puede ocurrir el colapso de una porción del entrepiso. El peligro aumenta cuando es mayor la altura de la edificación.

Transferencia de cortantes

La transferencia del cortante del diafragma a los muros de cortante y demás elementos estructurales es vital en el sistema de transmisión de cargas laterales. Si la transferencia no es adecuada, los muros y marcos no trabajarán correctamente y se reducirá la resistencia general de la edificación.

Anclaje entre elementos verticales y la cimentación

Se debe garantizar un adecuado anclaje entre los elementos verticales, tales como columnas o muros de carga, para la adecuada transmisión de cargas verticales y horizontales. En las edificaciones antiguas, es muy raro encontrar elementos de refuerzo que permitan el anclaje correcto entre las columnas y muros. Se debe evaluar el comportamiento de las conexiones de los diferentes elementos a la cimentación y si se encuentran debilidades durante la evaluación, se deben buscar los mejores mecanismos para su rehabilitación y reforzamiento.

Conexión entre muros

La falta de continuidad en los muros, especialmente los ortogonales, puede generar desplazamiento y fallas locales asociadas con el desplome y separación de los elementos resistentes, caída de entrepisos y cubiertas, y en general, el colapso total de la estructura. La correcta unión entre muros evita el volcamiento en el plano perpendicular de los muros,

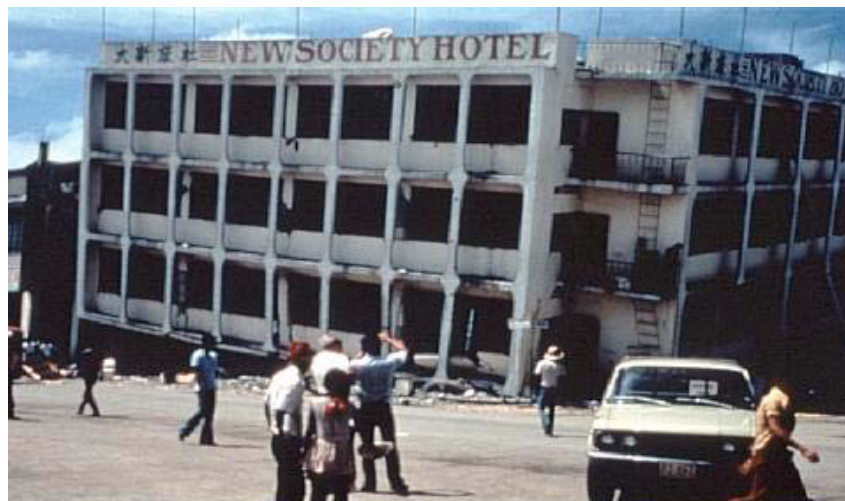
aunque en muros de gran masa, puede no presentarse este problema. La deficiencia esta en la falta de anclaje entre los muros.

3.5.5 Torsión

Cuando se presentan desequilibrios estructurales en una edificación, se pueden generar efectos torsionales, siendo éstos unos de los principales causantes de los daños producidos en las edificaciones. La torsión consiste en la acción de dar vueltas a un objeto, en este caso un edificio, por sus extremos (superior e inferior), rotando cada uno de ellos en sentido contrario.

Al rotar la base de una edificación, por inercia los pisos superiores seguirán el movimiento de la base, pero mientras éstos intentan alcanzar su posición relativa en la edificación, la base ya esta regresando con el movimiento del suelo, por lo que se generan en el extremo superior de la edificación rotaciones en el sentido contrario.

FIGURA 29. COLAPSO DEL NEW SOCIETY HOTEL POR FALLA DE LA COLUMNA DE LA ESQUINA POR TORSIÓN.



Fuente: Harold Alberto Muñoz ¹¹.

Estas torsiones se deben al desequilibrio en la distribución de rigideces en la edificación. Para que una edificación se mantenga en equilibrio y para que al aplicar una fuerza horizontal se produzcan desplazamientos, más no efectos torsionales, debería coincidir el centro de masa con el centro de rigidez. Si la distribución de los componentes resistentes a las fuerzas laterales no es simétrica, se produce un desplazamiento del centro de rigidez con respecto al centro de masa y la edificación rotará.

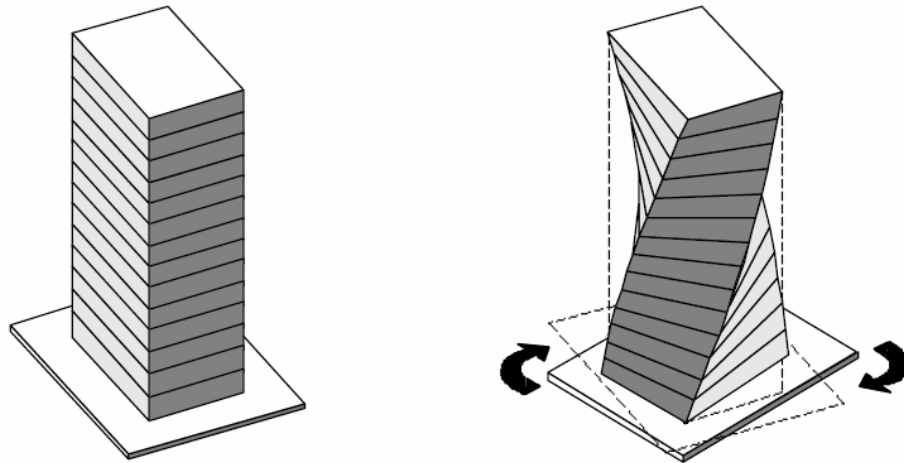
La torsión ha sido causa de importantes daños de edificios, que van desde la distorsión a veces visible de la estructura (y por tanto su pérdida de imagen y confiabilidad) hasta el colapso estructural. La torsión se produce por la excentricidad existente entre el centro de masa y el centro de rigidez.

Algunos de los casos que pueden dar lugar a la torsión en planta son:

- Posición de elementos rígidos de manera asimétrica con respecto al centro de gravedad del piso.
- Colocación de grandes masas en forma asimétrica con respecto a la rigidez.
- Combinación de las dos situaciones anteriores.

Debe tenerse presente que los muros divisorios y de fachada que se encuentren adosados a la estructura vertical tienen generalmente una gran rigidez y, por lo tanto, habitualmente pueden ser causantes de torsión, como en el caso corriente de los edificios de esquina.

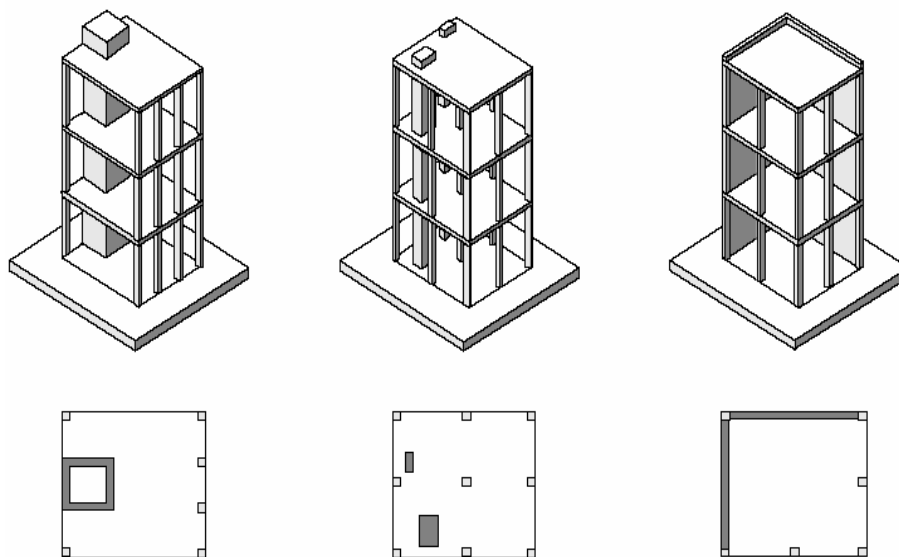
FIGURA 30. EJEMPLOS DE TORSIÓN.



Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

Cuantitativamente, puede considerarse que una excentricidad entre el centro de masa y de rigidez es grande cuando supera el 10% de la dimensión en planta bajo análisis. En un caso así deben tomarse medidas correctivas en el planteamiento estructural del edificio.

FIGURA 31. TORSIÓN POR MUROS EXCÉNTRICOS.



Fuente: Robert Reitherman, Arnold Christopher ⁶.

Si se contempla además la situación en altura, el panorama de la torsión puede complicarse aún más cuando hay irregularidades verticales, como los escalonamientos. En efecto, la parte superior del edificio transmite a la inferior un cortante excéntrico, lo cual provoca torsión del nivel de transición hacia abajo, independientemente de la simetría o asimetría estructural de los pisos superiores e inferiores.

La excesiva concentración de masas en las esquinas de los edificios (donde se encuentran los tanques elevados y cuarto de máquinas) causa torsión en la estructura, generando grandes desplazamientos en los ejes que por allí pasen.

Como todos los problemas de configuración, el de la torsión debe ser enfrentado desde la etapa de diseño espacial y de forma de la edificación. Los correctivos necesarios para el problema de la torsión pueden resumirse en general en los siguientes puntos:

- Las torsiones deben ser consideradas inevitables, debido a la naturaleza del fenómeno y a las características de la estructura. Por esta razón, se sugiere proveer a los edificios de rigidez, mediante la cual se busca reducir la posibilidad de giro en planta.
- A efectos del control de la torsión, debe estudiarse con cuidado el planteamiento de la estructura en planta y en altura, así como la presencia y la necesidad de aislamiento de los muros divisorios no estructurales que puedan intervenir estructuralmente. Finalmente, el objetivo debe ser proveer a la estructura con la mayor simetría posible de la rigidez con respecto a la masa ¹⁷.

3.6 PATOLOGIAS DE LOS COMPUESTOS DEL CONCRETO

Los compuestos del concreto también han experimentado cambios significativos y su selección debe estar basada en una calidad, una capacidad, unas experiencias y una formulación. Por ejemplo, hoy existe una gran variedad de cementos cuyas propiedades y características permiten diferentes usos y aplicaciones (por ello, es importante elegir el cemento apropiado por razones de durabilidad); el agua no sólo debe cumplir con los requisitos de calidad; sino que debe ser “mesuradamente” dosificada; los agregados deben tener granulometría continua y baja relación de vacíos, de lo contrario las mezclas tendrán alta tendencia a la segregación; el uso de aditivos debe ser racional y adecuado a las necesidades (sin excesos y sin exigir condiciones de riesgo para la estabilidad y durabilidad del concreto); las adiciones, deben usarse cuando hay lugar a ello y con conocimiento de causa.

Con relación al diseño de mezclas, es indispensable romper con la costumbre de utilizar “recetas únicas” dosificadas por volumen. La dosificación de los ingredientes debe hacerse por peso, con corrección de la humedad en los agregados, y con ajuste al agua de mezclado por absorción o aporte del agua libre de los mismos agregados. Como fallas más usuales en los compuestos del concreto en el momento de efectuar la mezcla, se pueden distinguir las siguientes:

- Por selección inapropiada y/o falta de control de calidad de los ingredientes de la mezcla.
- Por no diseñar y/o dosificar inadecuadamente la mezcla.
- Por no respetar las tolerancias permisibles en el asentamiento de la mezcla.
- Por utilizar agregados de tamaño equivocado.

- Por utilizar exceso de aire incluido.
- Por adicionar agua a pie de obra, sin control.
- Por no disponer de un factor de seguridad apropiado en el diseño de la mezcla.
- Por no usar la curva de relación agua/material cementante de los materiales disponibles.
- Por utilizar poco cemento (mezclas pobres y porosas), o por emplear exceso de cemento (mezclas ricas con alta contracción y fisuración).
- Por usar mezclas pastosas (con exceso de mortero) o piedradas (con exceso de agregado grueso). Este tipo de mezclas tienen alta tendencia a la segregación y a la exudación.
- Por retardos excesivos en el fraguado. El retraso en el fraguado de un concreto, puede traer como consecuencia la formación de fisuras por asentamiento y/o contracción plástica; pero además, puede afectar la adherencia mecánica entre el acero de refuerzo y el mismo concreto.
- Por la presencia del fenómeno de falso fraguado, que tiende a inducir un incremento en el agua de mezclado con la consecuente alteración de la relación agua/material cementante.
- Por fraguados acelerados que generan estructuras de pega pobres y por lo tanto bajas resistencias mecánicas.
- Por bajas resistencias en el concreto, lo cual conduce a fatigas prematuras o detrimento de la durabilidad.
- Por no hacer control de calidad al concreto, con lo cual se desconoce su capacidad resistente y su comportamiento.
- Por acero de refuerzo de calidad inapropiada o por insuficiencia en los anclajes y/o longitudes de desarrollo. Sobre este aspecto, por ejemplo, debe recordarse que la NSR-98 estipula que todo el acero principal longitudinal debe ser corrugado y que el acero liso solo es permitido en estribos, flejes y espirales ⁵.

3.6.1 Patología del Cemento

El cemento es un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le dan la capacidad de unir fragmentos sólidos para formar un material resistente y durable. El cemento constituye entre el 7 % y el 15 % del volumen total del concreto; es el componente activo de la mezcla y por lo tanto influye en todas sus características. Entre las principales Patologías que puede presentar el Cemento son:

- Falso fraguado: Debido a la hidratación rápida del yeso
- Retracción por exceso de calor de hidratación: Depende del AC_3 .
- Retracción hidráulica:
 - Exceso de AC_3 : Lleva a resistencias bajas en los ciclos de hielo - deshielo y atacabilidad por los sulfatos.
 - Exceso de Cal libre: Es expansivo, produciendo fisuraciones en el concreto.
 - Exceso de Cal liberada en la hidratación: Propio de concretos atacables por el agua pura o ácida.
 - Exceso de magnesia: Produce efectos similares de la cal liberada, pero aun más nocivos.
- Reacciones con los áridos: Los álcalis del cemento pueden reaccionar con áridos silicios, dando compuestos expansivos.

Cabe notar que también existen clases de cemento que traen adiciones de puzolanas, escorias, cenizas, volantes, las cuales les dan mejores características a éste.

Recomendación: Debido a que el cemento es un compuesto químico que reacciona con facilidad es conveniente que cuando se necesite un

concreto de determinada resistencia este se logre con una relación optima de agregados y agua con el fin de no incluir una cantidad excesiva de cemento para alcanzar al resistencia que se busca debido a que esto trae consigo problemas de fisuración, retracción y patológicos expuestos con anterioridad.

3.6.2 Patologías de los Agregados

Los agregados constituyen entre el 70 y el 80 % del volumen total del concreto y son esenciales para definir su resistencia, aunque no presentan muchos problemas la mayoría de ellos son debidos a la baja calidad y a su relaciones de cantidad con los otras componentes del concreto. Las patologías más comunes son:

- El exceso de finos produce bajas resistencias.
- Cuando estos presentan formas alargadas exigen mayor cantidad de agua y producen igualmente bajas resistencias.
- Cuando estos tienen compuestos de azufre, como la pirita, la cual reacciona con el cemento dando compuestos expansivos que terminan por destruir completamente la masa del concreto.

3.6.3 Patología del Agua

En general la recomendación más estricta acerca del agua es que sea potable. No necesariamente se debe usar agua potable se puede utilizar también agua de mar para concretos en masa. Teniendo en cuenta que la resistencia disminuye alrededor del 15% y normalmente aparecerán fluorescencias, para concretos armados no debe usarse por que el exceso de iones cloro favorece la corrosión de la armadura.

En cuanto al agua de curado esta exige una óptima calidad, esto con el fin de evitar la formación de geles o residuos del agua en la superficie del concreto que puedan afectar lo estructuralmente o arquitectónicamente.

Se debe controlar la presencia de sustancias nocivas disueltas en el agua que pueden producir corrosión química del concreto y tener cuidado con el exceso de agua que disminuye enormemente la resistencia final del concreto, al producir sangría por la formaleta.

3.6.4 Patología de los Aditivos

Los aditivos son ingredientes que son añadidos a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado para cambiarle o mejorarle una o varias de sus características, contrarrestar posibles deficiencias, desarrollar propiedades especiales o lograr una mayor economía. Cabe notar que si el concreto es defectuoso no será posible que el aditivo realice su trabajo.

Se debe tener en cuenta que en la mayoría de los casos la mejora de una propiedad puede acarrear el empeorar otras, en el momento de aplicar un aditivo este se debe aplicar uniformemente a toda la masa esto con el fin de evitar daños locales que se pueden presentar por exceso de aditivo en una zona lo cual podría invertir el comportamiento del mismo. Los aditivos con mayor uso suelen ser los plastificantes, mientras que los más problemáticos suelen ser los inclusores de aire y los acelerantes de fraguado que incluso pueden acelerar el proceso de corrosión.

3.7 PATOLOGIA DEL CONCRETO ARMADO

Es importante analizar en este punto del proyecto, el funcionamiento en general del concreto estructural, ya que de esta forma es que se presenta a lo largo de su vida útil, y también porque dentro de este contexto aparecen patologías de graves consecuencias para el futuro funcionamiento del concreto.

Las fallas más comunes son los siguientes:

- Desmoronamiento inclinado de las vigas en la proximidad de sus extremos debido a la tensión diagonal. En ocasiones aparecen dos grietas formando una cruz, como consecuencia de la inversión de esfuerzos.
- Desprendimiento y desmoronamiento del concreto en la parte inferior de las vigas cerca de la unión con las columnas, como consecuencia del exceso de compresión por flexión y de pandeo del acero de refuerzo del lecho inferior de las vigas. En algunos casos se puede observar que existe el mismo tipo de daño en las partes superior e inferior de las vigas, causado por inversión de momentos flectores.
- Deslizamiento o Punzonamiento de las columnas en los capiteles de estructuras de forjados reticulares provocado por tensión diagonal.
- Fisuras inclinadas en las columnas, provocado por tensión diagonal. En la mayoría de los casos estas fisuras se orientan en dos direcciones y forman una cruz, por efecto de la inversión de esfuerzos; en otros casos las fisuras se orientan en una sola dirección, sobre todo en estructuras que sufren asentamientos diferenciales antes o durante el terremoto.

- Desprendimiento y desmoronamiento del concreto en las columnas, así como pandeo del acero de refuerzo, como consecuencia de la repetida inversión de esfuerzos y las grandes deformaciones provocadas por el terremoto.
- Fisuras diagonales en cruz en muros de carga o de relleno provocados por tensión diagonal por haber un exceso de carga en ambos sentidos.

3.7.1 Patologías por Fisuración del Concreto

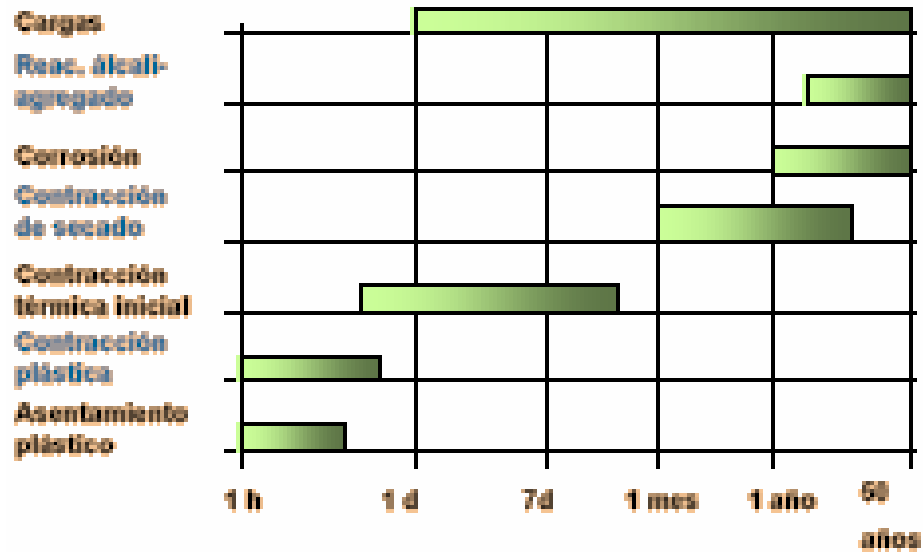
Fisura: Se denomina fisura la separación incompleta entre dos o más partes con o sin espacio entre ellas. Se puede definir también como una rotura en la masa de concreto que se manifiesta exteriormente con un desarrollo lineal. Su identificación se realizará según su dirección, ancho y profundidad. Por lo general son síntomas de problemas específicos y no la causa en sí. Las fisuras algunas veces afectan sólo la apariencia de la estructura, pero muchas veces indican problemas estructurales y de durabilidad; su importancia depende del tipo de estructura y de la naturaleza de las fisuras.

FIGURA 32. LOCALIZACIÓN Y DELINEAMIENTO DE FISURAS.



Fuente: Harold Alberto Muñoz ¹¹.

FIGURA 33. TIEMPO DE APARICION DE FISURAS.



Fuente: Tomado del GEHO - CEB Boletín No. 12.

Una fisura es inconfundible, pues se produce en diagonal en forma de aspa. Si la grieta o fisura, aparece en una sola de las diagonales, no indica que se ha producido un asentamiento diferencial de la estructura.

En un edificio sometido a fuerzas horizontales, aparecen esfuerzos cortantes de consideración. Como es un fenómeno oscilatorio, el cortante varía de sentido, produciéndose una excesiva inversión de esfuerzos que en los planos verticales se manifiesta como fisuras en forma de "X" claramente definidas. Cuando se recurra, como en este caso, al concreto armado para ejecutar los cerramientos, es necesario disponer una armadura específica para soportar el cortante que puede presentarse por la acción de alguna solicitud extrema ¹⁸.

3.7.1.1 Causas que provocan las fisuras

Problemas en la elaboración del concreto:

- Relación agua cemento altas.
- Malas prácticas constructivas.
- Ambientes agresivos: Se debe realizar un lavado con agua dulce excesivo para eliminar los agentes de la superficie (secado de la superficie).
- Bajo recubrimiento.
- Concretos de bajas resistencias.
- Curado deficiente: Se producen por desecación superficial del concreto en estado plástico. Causas Principales: Aire seco y/o el soleamiento. Aparecen en las primeras horas del fraguado y generalmente formando grupos. A veces se forman nidos de fisuras alrededor de zonas con concentraciones puntuales de cemento. Se producen fisuras pequeñas (20/40 mm). A veces hasta de 100 mm. Se evitan con un buen curado. En general carecen de importancia estructural y sólo han de tenerse en cuenta si pueden facilitar la corrosión de las armaduras o por problemas estéticos.
- Entumecimiento: Es el efecto contrario a la retracción. Así como el concreto que fragua en el aire disminuye de volumen (retracción), el concreto que fragua sumergido en agua aumenta de volumen (entumecimiento). Los efectos son similares pero contrarios a los de retracción, pero en la práctica las patologías por entumecimiento son casi inexistentes.
- Variaciones Térmicas: Se pueden producir por el gradiente de temperatura que se produce en el concreto por su baja conductividad. Solución: Un buen curado.
- Ataque químico.

Soluciones:

- Juntas de retracción en especial en elementos de gran superficie, como muros o pavimentos.
- Armaduras de piel en elementos lineales.
- Para la reparación de una estructura dañada puede recurrirse a técnicas de cicatrización u ocratizado de las fisuras si son delgadas o bien a la inyección con resina epoxi si son gruesas.

Problemas de proyecto o de ejecución del concreto:

- Solicitaciones excesivas: Son las fisuras que causan la mayor alarma y en la mayoría de los casos las que corresponden a las patologías más graves, puesto que indican que el concreto está alcanzando o ha sobrepasado su capacidad resistente.

Sin embargo la fisuración no es por sí misma un indicio alarmante. Lo normal es que las piezas de concreto se fisuren en estado de servicio y de hecho el estudio de las deformaciones en piezas flexadas de concreto tienen dos estados que se diferencian por lo que la pieza de un primer estado sin fisurar a un segundo estado fisurada, sin que ello implique problemas patológicos.

- Errores de Proyecto.
- Mal diseño Estructural.
- Contracción excesiva.
- Expansiones patológicas.
- Errores de ejecución.
- Asientos: La fisuración producida por asientos es una parte sustancial de las patologías observadas y en general suponen problemas difíciles y costosos de resolver. Esto y la propia incertidumbre de trabajar con un material como es el terreno, cuyas

propiedades no son bien conocidas, hace que este tema sea de especial dificultad.

Los problemas de asientos no deben atribuirse al terreno. El terreno es como es y la obligación del técnico es averiguar sus características. La responsabilidad de la aparición de lesiones únicamente debe atribuirse a la estructura, que no ha podido adaptarse a las características del terreno real.

En la mayor parte de los casos la actuación consistirá en una intervención sobre la estructura o la cimentación, siendo muy poco frecuentes las intervenciones de consolidación sobre el terreno ¹⁹.

3.7.1.2 Clasificación de las fisuras

Según el tamaño las fisuras se clasifican en:

- Microfisuras: $e < 0.05$ mm. En general carecen de importancia.
- Macrofisuras: $e > 0.2$ mm. Estas son las fisuraciones que pueden tener repercusiones estructurales de importancia.
- Fisuras: $0,1 < e < 0.2$ mm. En general son poco peligrosas, salvo en ambientes agresivos, en los que pueden favorecer la corrosión.

Las Fisuras pueden ser producidas por problemas intrínsecos del propio concreto, especialmente ligadas al proceso del fraguado. Pueden estar ligadas a defectos de fabricación o de puesta en obra del concreto en sus elementos estructurales.

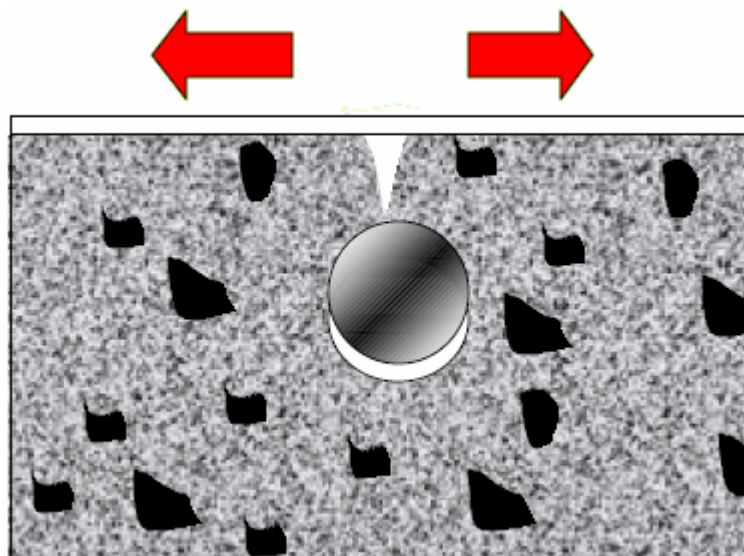
Fisuras en Estado Plástico:

Se producen en los primeros momentos de la puesta en obra del concreto, mientras todavía está en estado plástico.

➤ Fisuras por Asentamiento Plástico:

Después de haber sido colocado, vibrado y afinado el concreto tiende a consolidarse (asentarse); por ello, si hay restricciones se fisurara. La presencia de fisuras dependerá del recubrimiento y diámetro de la barra.

FIGURA 34. EJEMPLO DE ASENTAMIENTO PLÁSTICO.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

Para evitar el asentamiento plástico es necesario tomar algunas recordaciones:

- Buen diseño de mezcla (buscar cohesión).
- Bajo contenido de agua de amasado (evitar segregación).

- Incorporar aire a la mezcla (exudación menor).
- Evitar exceso de arena en el diseño del concreto.
- Controlar la temperatura de la mezcla (ingredientes).
- Adecuados recubrimientos y manejabilidad del concreto.
- Hacer por etapas vaciados en vigas y muros altos y columnas (usar un aditivo retardador).

➤ **Fisuras por Afogado:**

Se producen por desecación superficial del concreto en estado plástico.

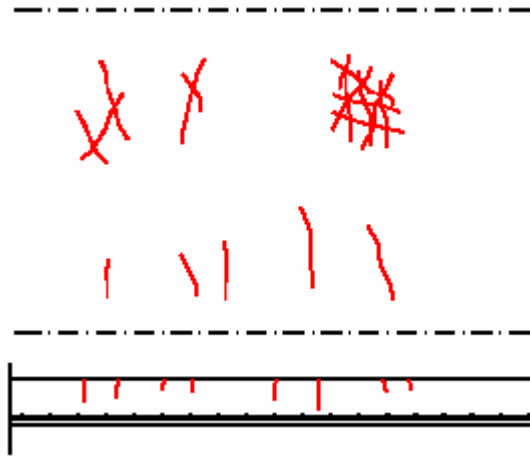
Causas Principales: Aire Seco y/o soleamiento.

Características:

- Aparecen en las primeras horas del fraguado y generalmente formando grupos.
- A veces se forman nidos de fisuras alrededor de zonas con concentraciones puntuales de cemento.
- Fisuras pequeñas (20 - 40 mm). A veces hasta 100 mm.
- Se evitan con un buen curado.

En general las fisuras de afogado carecen de importancia estructural y sólo han de tenerse en cuenta si pueden facilitar la corrosión de las armaduras o por problemas estéticos.

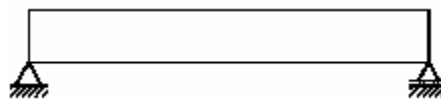
FIGURA 35. FISURACIÓN DE UNA PLACA.



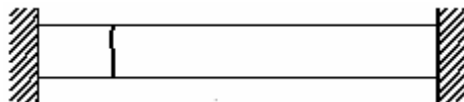
➤ **Fisuras de Retracción Hidráulica:**

El concreto al fraguar disminuye el volumen. Si la estructura tiene su disminución de dimensiones coartada puede romperse.

FIGURA 36. FISURAS POR RETRACCIÓN HIDRAULICA EN UNA VIGA.



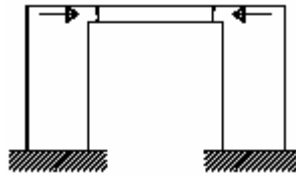
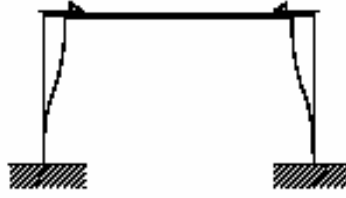
Movimiento Libre: No se fisura.



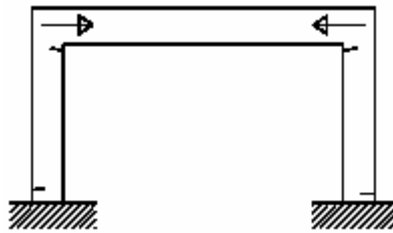
Movimiento Coartado: Se puede fisurar.

La estructura se romperá por la zona más débil.

FIGURA 37. FISURAS POR EXCESO O FALTA DE RIGIDEZ.

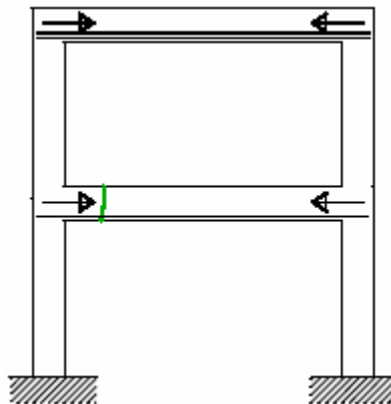


Columna de mucha rigidez: Rompe la viga por tracción.

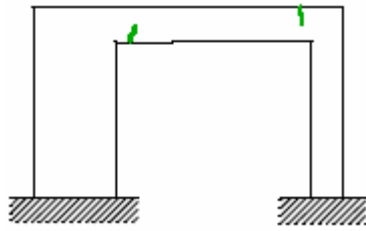


Columnas de poca rigidez: Rompen las columnas por flexión.

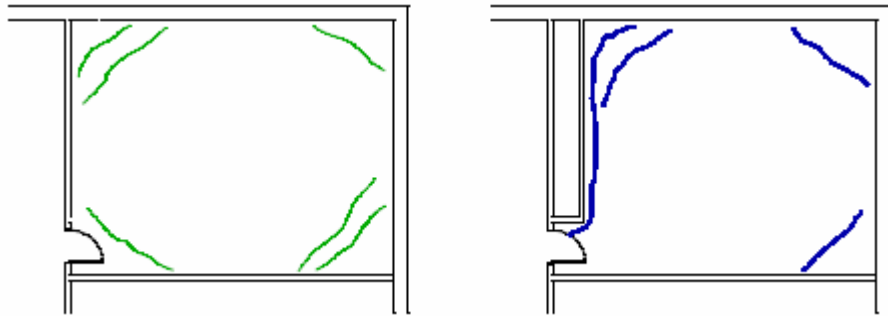
FIGURA 38. FISURAS POR RETRACCIONES DIFERENCIALES.



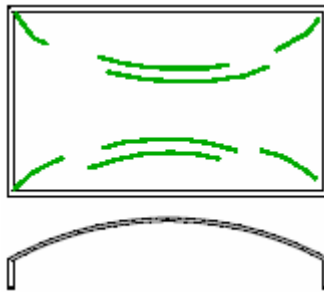
En Vigas



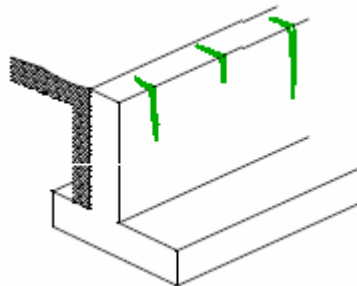
En Columnas



Fisuras de Retracción en Placas.



Fisuras de Retracción en Láminas



Fisuras de Retracción en Muros

Características de las fisuras de retracción hidráulica:

- Aparición retardada, meses y a veces años.
- Más frecuentes e importantes en elementos situados en zonas secas y soleadas. A veces es muy difícil de distinguir su origen por retracción o por efectos térmicos.
- Son regulares, con anchura prácticamente constante y normalmente se estabilizan muy rápidamente, por lo que cuando el técnico interviene suelen ser muertas.
- Su forma depende del armado del elemento.
Cuantías altas > Fisuras finas y juntas.
Cuantías bajas > Fisuras gruesas y separadas.
- No suelen tener riesgo estructural, pero sí de durabilidad.

➤ **Fisuras por Entumecimiento**

El entumecimiento es el efecto contrario a la retracción. Así como el concreto que fragua en el aire disminuye de volumen (retracción), el concreto que fragua sumergido en agua aumenta su volumen (entumecimiento). Los efectos son similares pero contrarios a los de la retracción, pero en la práctica las patologías por entumecimiento son casi inexistentes ²⁰.

➤ **Fisuras de Ejecución en Estado Plástico:**

Son las fisuras que se producen en las primeras horas de vida del concreto por asentamiento o deslizamiento del mismo. En general son

fisuras poco importantes que sólo afectan a la estética de la estructura. Los casos más frecuentes son:

- Deslizamiento del concreto en rampas o piezas inclinadas.
- Movimientos del encofrado.
- Desplazamiento en la armadura al picar o vibrar el concreto.
- Asientos en el concreto fresco impedidos parcialmente por un encofrado. Son frecuentes en huecos de muros o en uniones viga – columna o placa – muro si también fraguan conjuntamente. En todos los casos debe esperarse una o dos horas después del fraguado a nivel de la cara superior del hueco para permitir el asentamiento del concreto fresco. También puede ponerse en los huecos una pequeña armadura que cosan la posible fisuración de la esquina.

FIGURA 39. EJEMPLO DE EJECUCIÓN EN ESTADO PLASTICO.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

En el caso de la unión viga – columna es de hacer notar que si la fisura horizontal es poco visible o queda disimulada por algún elemento, puede confundirse con la situación previa al colapso de la columna por desplazamiento de estribos, es decir una patología especialmente grave, mientras que en realidad carecería de importancia.

➤ **Fisuras por Contracción Plástica:**

La principal causa es la pérdida rápida e importante de humedad en el concreto debida al viento, sol y baja humedad relativa. Son grietas con bajo espesor y patrón típico.

FIGURA 40. EJEMPLO DE CONTRACCIÓN PLÁSTICA.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

Para llevar un buen control en obra y evitar la contracción plástica, se recomiendan colocar barreras contra el viento y el sol.

FIGURA 41. EJEMPLO DE BARRERAS CONTRA EL VIENTO Y EL SOL.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

➤ **Fisuras por Juntas Frías:**

Se crean por alguna de las siguientes causas: Colocación tardía de una capa de concreto sobre otra, Movimiento de la formaleta (golpes), Suspensión temporal de la colocación del concreto.

FIGURA 42. EJEMPLO DE JUNTAS FRIAS.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

Para realizar un buen control es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Retardar el concreto cuando se prevé demoras en el suministro o la colocación.
- Si ya fraguó la capa o el tramo de concreto dar rugosidad a la zona de adherencia, saturar con agua y colocar el concreto nuevo.
- En concreto endurecido usar un imprimante epóxico para continuar el vaciado, reestableciendo la continuidad estructural.

Fisuración del Concreto Endurecido

➤ Contracción por Secado:

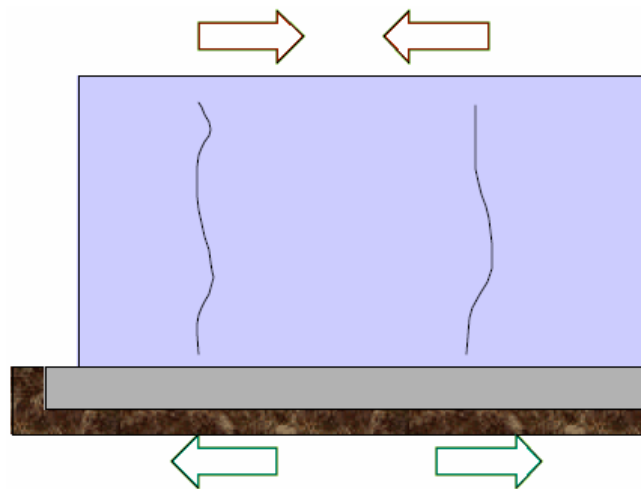
La contracción por secado es causado por la pérdida de agua de la pasta de cemento. Si la contracción pudiera tener lugar sin restricciones el concreto no se agrietaría.

Causas:

- Exceso de agua de amasado.
- Exceso de arena en el concreto.
- Falta de curado.

FIGURA 43. EJEMPLOS DE CONTRACCIÓN POR SECADO.





Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

Control:

- Trabajar con la mínima relación agua / cemento posible.
- Usar aditivos que controlen la contracción.
- Incrementar el contenido de agregado grueso.
- Humedecer la subrasante y la formaleta.
- Curar oportuna y adecuadamente la estructura.

- Diseñar juntas.

➤ **Fisuras de Origen Térmico:**

Causas:

- Diferencias de temperatura en el concreto de una misma estructura causada por enfriamiento dispar, causan esfuerzos de tensión que pueden agrietar la estructura.
- La diferencia máxima de temperatura concreto – medio ambiente es de 20 °C para agregado silíceo, con agregado calizo es de 40 °C.

FIGURA 44. FISURAS POR ORIGEN TÉRMICO.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

Solución: Un buen Curado.

Otros efectos térmicos:

- Variaciones fuertes de temperatura.
- Focos puntuales de calor como chimeneas o calderas.
- Empujes producidos por congelación de agua, etc.

Su sintomatología es muy parecida a la de retracción, lo que a veces es muy difícil de distinguir.

Contracción Térmica Inicial:

Se presenta la contracción de elementos estructurales debida al enfriamiento luego del fraguado. Ocurre en un período de 1 a 7 días.

Control:

- Bajas cuantías de cemento.
- Uso de cementos adicionados.
- Uso de cementos de bajo calor de hidratación.
- Refrigeración de agregados.
- Agregados de bajo coeficiente de dilatación.
- Uso de agua helada o escarcha.
- Armadura en cuantía requerida.
- Curado oportuno y adecuado.
- Diseño de juntas.
- Formaletas acordes con el tipo de estructura.

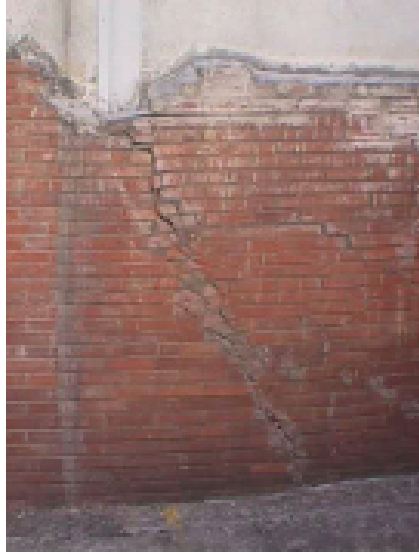
Fisuras en elementos estructurales

➤ Fisuras en Muros de Fachada

Este tipo de fisuramiento no tiene un único origen para su presencia, encontrándose que una primera causa es la exposición de los muros a la intemperie, donde deben sufrir los contrastes de intensos calores y fuertes lluvias lo que hace que la humedad sea variada y afecte el friso del muro ocasionando que este último se sople y creen grietas que son visualmente fáciles de reconocer, pero que son superficiales y que por lo tanto no afectan la rigidez del muro; la forma de reparar esta situación es raspando la zona de friso que se encuentra en mal estado y colocándolo de nuevo teniendo en cuenta que al final debe ser protegido por una pintura que sea a prueba de agua y en lo posible colocar canales que recojan el agua y lo depositen sin causar afectación a las paredes.

FIGURA 45. EJEMPLOS DE FISURAS EN MUROS DE FACHADAS.





Fuente: Harold Alberto Muñoz ¹¹.

Otro motivo por el cual se presentan fisuras en la fachada esta dado por la línea de falla que se crea en la finalización del madero que se coloca como dintel (Para casa de tierra o de adobes) ya sea en las puertas o en las ventanas, esta es una fisura que siempre se da en forma horizontal y alcanza unos 20 cms después de la terminación del vano que se ha hecho en el muro. La solución que se recomienda es la de raspar la zona afectada en forma profunda para quitar el sector dañado, colocar una malla en alambre (Puede ser de galpón), que permite de alguna manera el confinamiento del muro y a su vez ayudar a la adherencia del muro con el friso, en este procedimiento es importante que el muro sea mojado suficientemente y así garantizar una buena unión entre el muro y mezcla.

Se presenta en muros de fachada o en los patios de las casas debido a la acción de la lluvia que cae en forma directa sobre ellos, produciendo soplamientos en el friso y en caso de no ser tratado a tiempo puede llegar a causar debilitamiento de los mismos.

FIGURA 46. FORMAS MÁS COMUNES DE FISURAS EN MUROS DE FACHADAS.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

Realmente no representa efectos de consideración bajo condiciones normales, y la forma de remediar esta patología puede ser cambiando la fachada de manera que se haga con material o con pinturas impermeables, también es importante encausar el agua lluvia por medio de canales especiales para el cumplimiento de esta función ²¹.

➤ Fisuras en las Columnas

Fisuración por asiento plástico en la cabeza de las Columnas

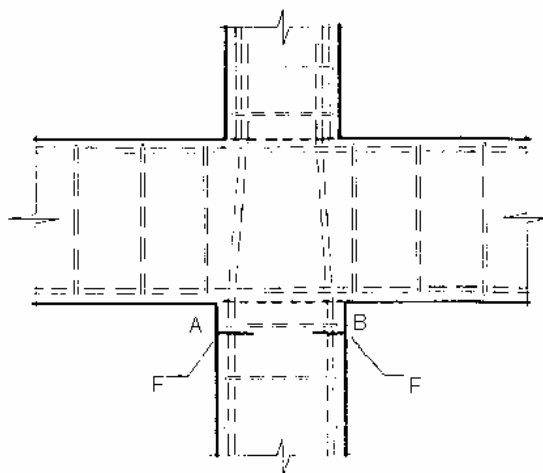
Causas:

Exceso de exudación, Fraguado con altas temperaturas ambientes y/o viento, Exceso de relación A/C, Exceso de finos en la arena, Cemento inadecuado, Empleo incorrecto de retardadores, Armadura con poco recubrimiento.

Características:

- Fisuras que aparecen generalmente a nivel ligeramente inferior al de un estribo en la cabeza de la columna. (AB es la junta de construcción).
- Fisuras de ancho apreciable (0.2 a 0.4 mm) y generalmente de poca profundidad.
- Aparecen antes de tres horas de vertido el concreto, pero no son observables debido al encofrado de la columna, hasta que se procede al desencofrado.
- Están motivadas por la coacción que los estribos producen al asiento plástico del concreto situado sobre ellos. El concreto del núcleo y el situado bajo el estribo descienden libremente.
- Se producen en cabeza, donde el concreto tiene una mayor relación A/C por el vibrado y no hay peso de concreto fresco encima en ese momento.

FIGURA 47. FISURACIÓN POR ASIENTO PLÁSTICO EN LA CABEZA DE LAS COLUMNAS.



Fuente: Atlas de Patologías ²².

Fisuración en Columnas por agotamiento de la resistencia del Concreto

Causas:

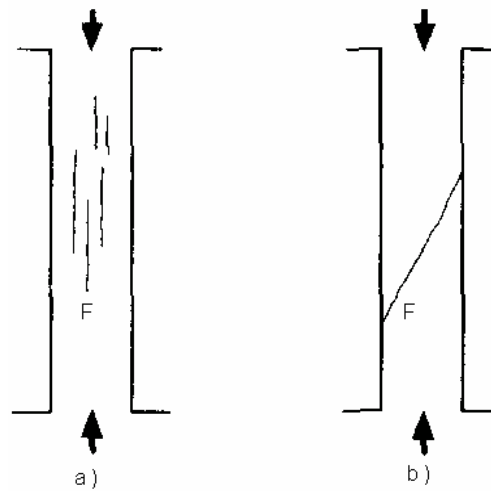
Falta de resistencia del concreto para las tensiones a que está solicitado.

Características:

- En concretos con estudio de humedad normal o alto, las fisuras de prerrotura son paralelas a la directriz de la columna (a). La fisura inclinada F de la figura (b) es muy rara y solo se presenta en el caso de concretos secos.
- Suelen presentarse varias fisuras, F, paralelas.
- Las fisuras F siempre son muy finas, del orden de 0.1 mm como máximo. (Solo son de mayor ancho en columnas con una cuantía de estribos extraordinariamente más alta que la habitual).

- Generalmente no están superpuestas a las armaduras.
- Aparecen en fase de prerrotura de la pieza, es decir a partir del 80 – 90 % de la carga de rotura de la columna.

FIGURA 48. FISURACIÓN DE LAS COLUMNAS POR AGOTAMIENTO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.



Fuente: Atlas de Patologías ²².

➤ Fisuras en los Nudos

FIGURA 49. EJEMPLO DE FISURAS EN NUDOS.



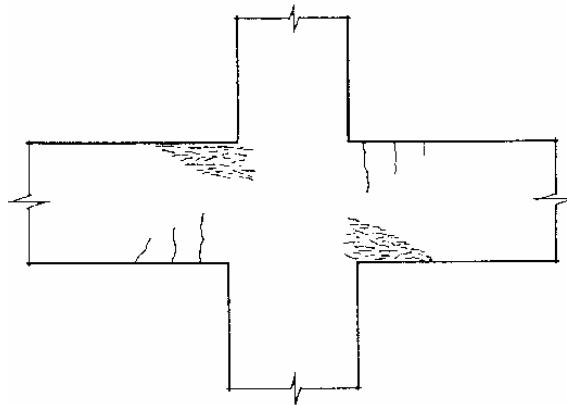
Fuente: Juan Pérez Valcárcel ¹⁹.

Fisuras en las Zonas de Nudos

Causas:

Dimensionamiento inadecuado para resistir los esfuerzos producidos por la acción sísmica.

FIGURA 50. FISURAS EN LAS ZONAS UBICADAS EN CARAS OPUESTAS A CADA LADO DEL NUDO.

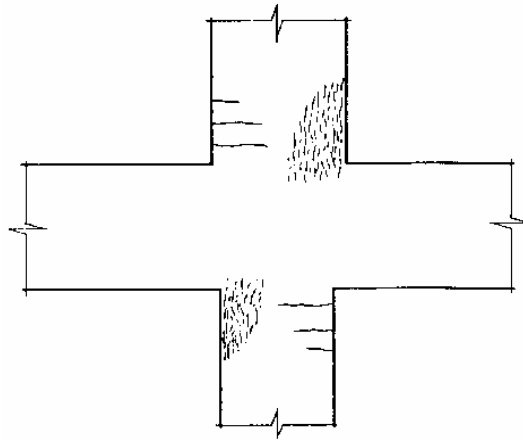


Fuente: Juan Pérez Valcárcel ²².

Características:

- Fisuras de flexión, generalmente varias y paralelas en caras opuestas a cada lado del nudo.
- Zonas de fisuración fina o deslaminación del concreto en caras opuestas de vigas a cada lado del nudo.

FIGURA 51. FISURAS EN LAS ZONAS UBICADAS EN CARAS OPUESTAS A CADA LADO DEL DINTEL.



Fuente: Juan Pérez Valcárcel ²².

Características:

- Fisuras de flexión, generalmente varias y paralelas en caras opuestas a cada lado del dintel.
- Zonas de fisuración fina o deslaminación del concreto en caras opuestas de columnas a cada lado del dintel ²⁰.

Fisuras Debidas a problemas de Ejecución de la estructura en su conjunto.

Para esta patología se estudiarán las principales causas de fisuración con importancia estructural, es decir aquellas que son síntomas de un mal comportamiento estructural del conjunto.

➤ **Fisuras por solicitaciones excesivas:**

Son las fisuras que causan la mayor alarma y en la mayoría de los casos las que corresponden a las patologías más grave, puesto que indican que el concreto está alcanzando o ha sobrepasado su capacidad resistente.

Sin embargo la fisuración no es por sí misma un indicio alarmante. Lo normal es que las piezas de concreto se fisuren en estado de servicio y de hecho el estudio de las deformaciones en piezas flexadas de concreto tiene dos estados que se diferencian por que la pieza pasa de un primer estado sin fisurar a un segundo estado fisurada, sin que ello implique problemas patológicos.

Por ello conviene estudiar la evolución de la fisuración de una pieza de concreto para comprobar si corresponde o no a una situación de alarma. A continuación se presentan unos criterios puramente orientativos, pero es importante resaltar que un mismo tipo de fisuras puede estar producido por causas diversas y además las fisuras raramente se comportan como dicen los libros, puesto que muchas veces existen otros factores que distorsionan los resultados. Como en casi todo la experiencia y el ojo clínico son esenciales en un correcto diagnóstico. Pese a ello es conveniente un pequeño estudio del comportamiento normal de las distintas piezas de concreto ante sollicitaciones excesivas, puesto que siempre nos dará unas pautas ²⁰.

Fisuras Debidas a Cargas

Son fisuras que tienen las siguientes características:

- Orientación muy bien definida.
- Patrones de fisuras específicos.

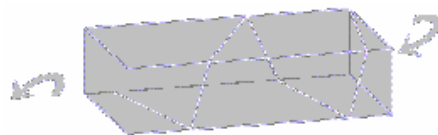
- Relación entre tipo de fisura y fuerza interna (tensión, flexión, cortante).
- El ancho de la fisura define su importancia (mecánico y durabilidad).

El diseño del concreto estructural parte de la consideración cierta de la baja capacidad para soportar esfuerzos de tensión, por lo que se considera totalmente fisurada la zona bajo esa clase de esfuerzos. Sin embargo, a pesar de ser consubstancial con el diseño tal suposición, el diseñador, constructor o interventor de una estructura de concreto no deben dejar pasar desapercibida la presencia de cualquier tipo de fisura.

FIGURA 52. EFECTOS DEPENDIENTES DE LAS CARGAS.

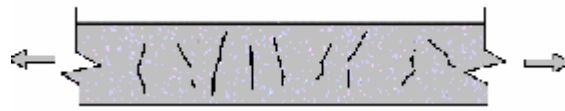


FLEXION PURA

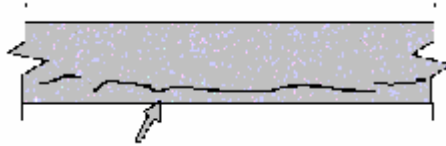


TORSION

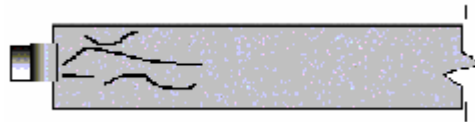
FISURAMIENTO HELICOIDAL



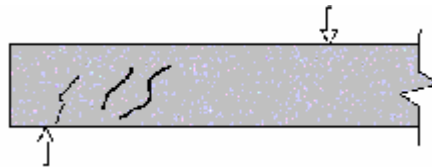
TENSION PURA



FISURACION POR ADHERENCIA



CARGA CONCENTRADA



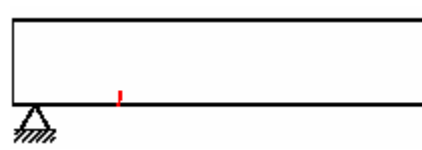
CORTANTE

Fuente: Jorge Zambrano López ²³.

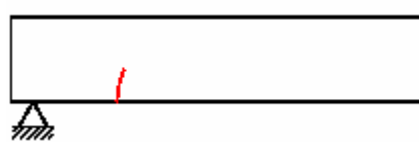
➤ **Fisuras por Flexión:**

- Se inicia en la fibra inferior.
- Progresa aproximadamente en vertical.
- Se incurva al llegar a la fibra neutra.
- Aparecen varias y bastante juntas.
- Evolucionan lentamente.
- Aparecen bajo carga y desaparecen al descargar.

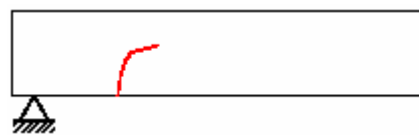
FIGURA 53. EVOLUCIÓN DE UNA FISURA DE MOMENTO FLECTOR.



Se inicia en la fibra inferior.

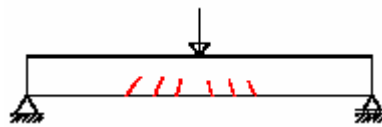


Continúa casi en vertical.



Se encurva al llegar a la fibra neutra.

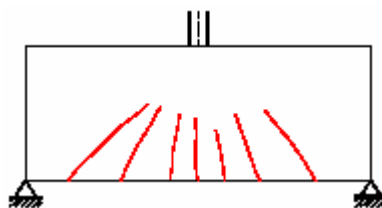
FIGURA 54. EJEMPLOS DE FISURA POR FLEXION.



Fisuras de Flexión Simple.



Fisuración por Flexión Compuesta.



Vigas pared.

Hay que apuntalar la pieza y proceder a su refuerzo.

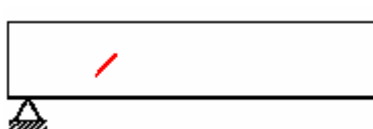
➤ **Fisuras por Cortante:**

De la falla por cortante es importante registrar que debilita bastante el muro y por esto su reparación se debe hacer con mucho cuidado, teniendo en cuenta que se debe cumplir con ciertas condiciones; se debe raspar el muro, en ambos lados de la abertura hasta encontrar la profundidad de agrietamiento y se le debe colocar un refuerzo que para el caso puede ser varillas No. 3 que lleven una forma de “ S “ o de “ Z “ siguiendo la línea de falla de manera que sirva como unión entre las dos partes del muro y a su vez y lo más importante como elemento de absorción de los esfuerzos cortantes ²¹.

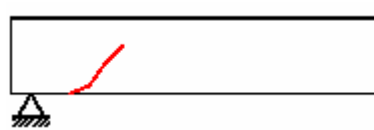
Características:

- Progresan hacia la armadura y luego hacia la carga.
- Dividen la pieza en dos, provocando el colapso.
- Evolucionan muy rápidamente y son muy peligrosas.
- Aparecen pocas y muchas veces una sola.
- Hay que evacuar inmediatamente el edificio, apuntalar y reforzar.

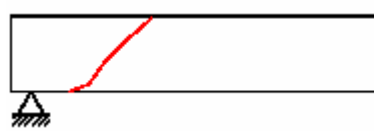
FIGURA 55. EVOLUCIÓN DE UNA FISURA DE ESFUERZO CORTANTE.



Se inicia en el alma a 45° aproximadamente.



Continúa hacia la armadura.



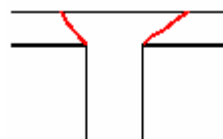
Corta la viga en dos.

➤ **Fisuras por Punzonamiento:**

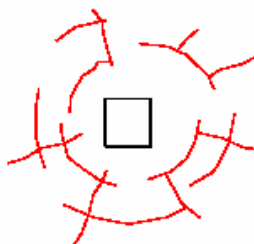
Características:

- Se presenta en ábacos de forjados reticulares.
- En uniones de vigas planas con columnas.
- Son fisuras de características similares y por ello sumamente peligrosas.

FIGURA 56. EJEMPLOS DE PUNZONAMIENTO.



Sección



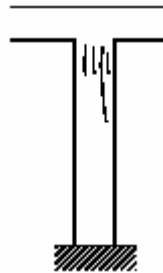
Planta

➤ **Fisuras de Compresión:**

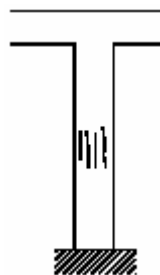
Características:

- Se producen sobre todo en Columnas.
- Son especialmente peligrosas por su evolución, generalmente rápida y por la importancia de dichos elementos estructurales.
- Muchas veces es bastante difícil identificarlas.

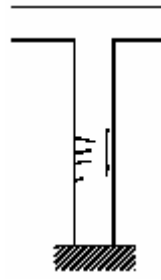
FIGURA 57. EJEMPLOS DE COMPRESIÓN.



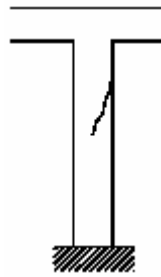
Compresión – Desplazamiento de Estribos



Compresión



Pandeo

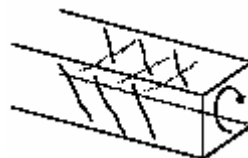


Cortante

➤ **Fisuras de Torsión:**

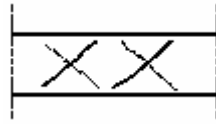
Tiene un aspecto similar a las del esfuerzo cortante y por tanto pueden ser confundidas con ellas. El principal criterio para distinguirlas es que en el caso del cortante las fisuras están inclinadas en el mismo sentido en las dos caras opuestas en tanto que las de torsión están inclinadas en sentidos contrarios, como se indica en la siguiente figura.

FIGURA 58. EJEMPLOS DE TORSION.





Fisuración por Cortante en la cara anterior y posterior.



Fisuración por Torsión en la cara anterior y posterior.

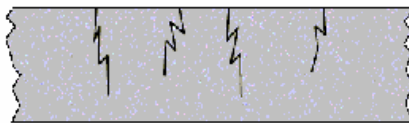
Torsión Principal → Muy peligrosas.

Torsión Secundaria → Reajuste de deformaciones (poco importantes).

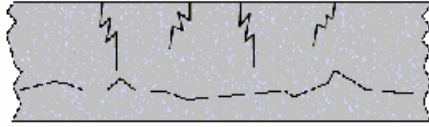
Fisuras cuya presencia es independiente de las Cargas

La diversidad de patologías de las fisuras obliga a conocer con detenimiento la causa de la aparición de cada una de ellas para acertar en su diagnóstico. Es en esta clase de Patologías donde se pueden ver la incidencia que tienen los elementos que forman el concreto, en la formación y desarrollo de fisuras, resaltando por ello, el estricto control que se debe realizar en el proceso de construcción.

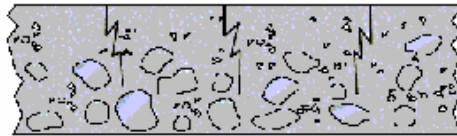
FIGURA 59. EFECTOS INDEPENDIENTES DE LAS CARGAS.



Fisuras de Contracción Plástica debidas a una diferente relación A/C de dos capas de Concreto



Fisuras de Contracción en Concreto fresco colocado sobre Concreto antiguo



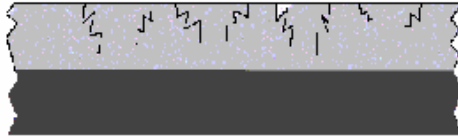
Fisuras de Contracción por segregación del Agregado. Ej. Concreto Fluido vaciado exceso



Fisuras de contracción entre acero de refuerzo



En una capa gruesa de Concreto, las fisuras de contracción están muy alejadas entre sí



En una capa delgada de Concreto las grietas de contracción están próximas entre sí.

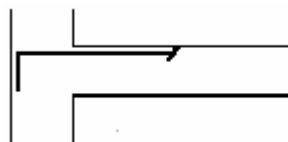
Fuente: Jorge Zambrano López ²³.

Fisuras por Mala Disposición de la Armadura

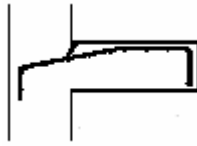
Las malas disposiciones de la armadura pueden dar lugar a patologías sumamente graves. El desplazamiento accidental de la armadura en obra, muchas veces por simple pisoteo provoca la reducción del canto útil y por consiguiente la drástica reducción de la capacidad resistente de la pieza.

Otros casos que pueden ser muy graves son los producidos por ausencia del refuerzo en columnas que pueden llevar al colapso por pandeo de las armaduras comprimidas. También es posible la aparición de problemas patológicos por deficiente anclaje de las armaduras, como los casos señalados a continuación.

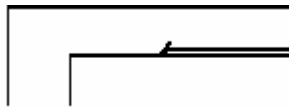
FIGURA 60. EJEMPLOS DE FISURAS POR MALA DISPOSICIÓN DE LA ARMADURA.



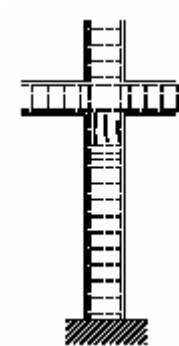
Anclaje Insuficiente



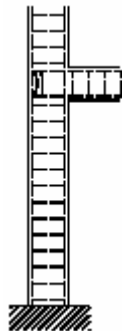
Desplazamiento de armaduras



Fuerte concentración de anclajes



Ausencia del refuerzo en la cabeza de la columna



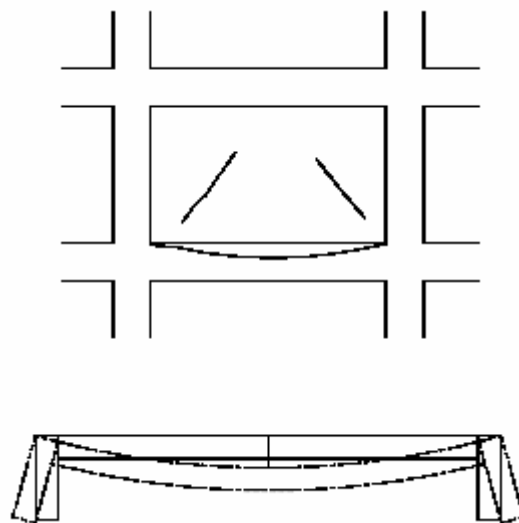
Falta de Acero en la Cabeza de la columna

Fisuras por Exceso de deformación

Las patologías por exceso de deformación han sido desde siempre, pero en los últimos tiempos el problema se ha agudizado, puesto que la construcción moderna tiende hacia estructuras muy flexibles, que favorecen el exceso de deformaciones. Así la construcción con vigas planas, con piezas muy esbeltas, con menores grados de empotramiento y con mayores pesos en los centros de las luces, llevan a que las deformaciones, tanto instantáneas como diferidas, sean muy superiores a las tradicionales en estructura de concreto ²⁰.

En la siguiente figura se señalan dos tipos de problemas corrientes. Por un lado la típica fisuración en muros, que no suele dar más problemas que los puramente estéticos y por otro las torsiones que los forjados pueden producir en las vigas extremas y que pueden revestir enorme gravedad.

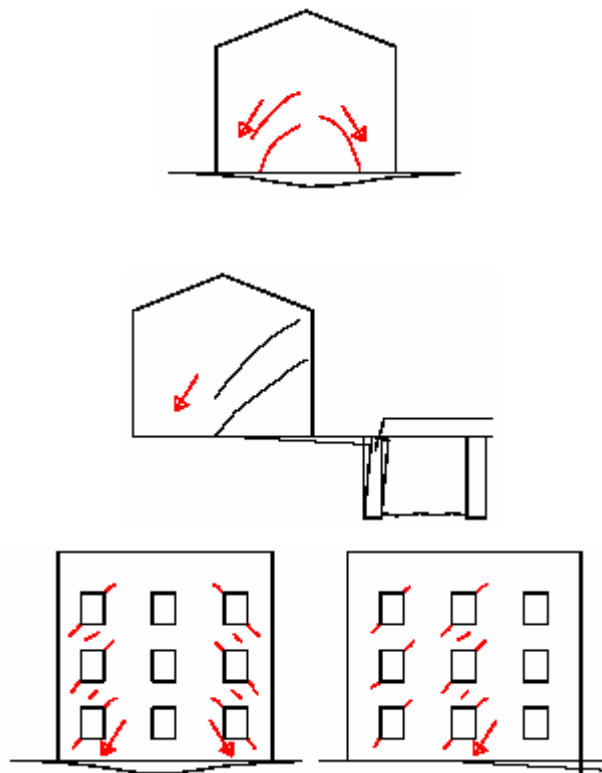
FIGURA 61. EJEMPLOS DE FISURAS POR EXCESO DE DEFORMACIÓN.



Fisuras por Asientos Excesivos

La fisuración producida por asientos es una parte sustancial de las patologías que se presentan a menudo en nuestro medio y en general suponen problemas difíciles y costosos de resolver. Esto y la propia incertidumbre de trabajar con un material como es el terreno, cuyas propiedades no son bien conocidas, hace que este tema sea de especial dificultad.

FIGURA 62. EJEMPLOS DE FISURAS POR ASIENTOS EXCESIVOS.



Los problemas de asientos no deben atribuirse al terreno. El terreno es como es y la obligación del técnico es averiguar sus características. La responsabilidad de la aparición de lesiones únicamente debe atribuirse a la estructura, que no ha podido adaptarse a las características del terreno real. En la mayor parte de los casos la actuación consistirá en una

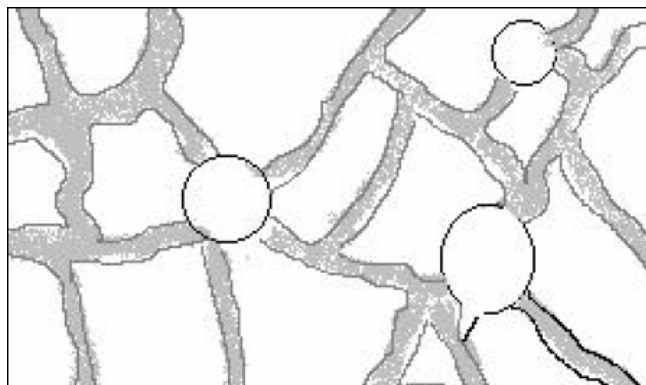
intervención sobre la estructura o la cimentación, siendo muy poco frecuentes las intervenciones de consolidación sobre el terreno.

Fisuras por Agentes Externos

➤ **Ciclos de Congelamiento y deshielo:**

Las sales, por expansión al secar en los poros, crean un efecto muy parecido al del hielo – deshielo, que es raro en nuestro medio.

FIGURA 63. EJEMPLO DE FISURAS POR CICLOS DE HIELO – DESHIELO.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

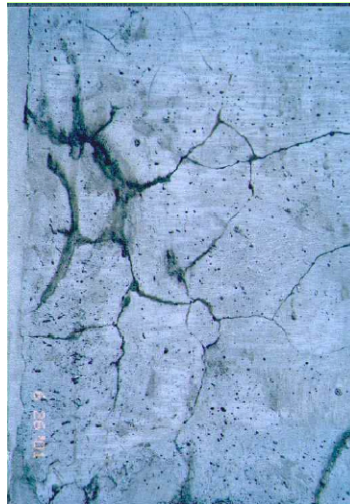
La Fisuración por efectos del hielo – deshielo ocurre después de muchos ciclos de congelamiento y descongelamiento del agua en los poros del concreto. Se evita incorporando aire que genere cámaras de disipación del aumento de volumen del agua al congelarse.

➤ **Reacción Álcali – Agregado:**

Causa: Expansión de agregados que contienen sílice amorfa por reacción con los álcalis del cemento en presencia de humedad.

Controles: Petrografía previa agregados, Uso de puzolanas, Control de humedad.

FIGURA 64. EJEMPLO DE FISURAS POR REACCIÓN ALCALI – AGREGADO.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

➤ **Fisuras por el Fuego:**

La gravedad de los daños en estructuras de concreto reforzado afectadas por incendio dependen de la temperatura alcanzada.

- Hasta 100 °C no hay problema de deterioro.
- A los 300 °C se deshidrata el silicato cálcico hidratado (CSH) y el concreto pierde el agua de cristalización.

- A los 500 °C se convierte la portlandita (CH) en cal viva.
- A los 900 °C completa descomposición de la tobermorita (CHS), se ha calcinado el concreto.

FIGURA 65. ACCIÓN DEL FUEGO SOBRE EL CONCRETO.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

La acción del fuego causa la expansión del agregado. El vapor de agua liberado genera grandes presiones internas que contribuyen al fisuramiento. En la siguiente figura se observa como el acero se dilata y fisura el recubrimiento siguiendo la dirección de flejes y barras externas.

FIGURA 66. EJEMPLO DE LOCALIZACIÓN DE FISURAS POR LA PRESENCIA DEL FUEGO.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

➤ **Fisuras por Corrosión:**

FIGURA 67. EJEMPLO DE FISURAS POR CORROSIÓN.



Fuente: Juan Pérez Valcárcel ¹⁹.

El acero al corroerse aumenta de volumen en una proporción de 10 veces aproximadamente, por lo que actúa como una cuña intensa que hace saltar el recubrimiento de concreto, también da lugar a óxidos de hierro los cuales tienen una naturaleza expansiva. Lógicamente este efecto se producirá a lo largo de las armaduras y normalmente aparecerán dichas fisuras manchadas de óxido, por lo que esta patología es muy fácil de

detectar. Las primeras armaduras en corroerse son las de la armadura principal y en fase avanzada los nudos. Es en este momento cuando la patología empieza a ser peligrosa en columnas, puesto que pueden pandear las armaduras principales.

FIGURA 68. EJEMPLO DE ACERO AL DESCUBIERTO.



Fuente: Juan Pérez Valcárcel ¹⁹.

En general las patologías por corrosión no son urgentes, en el sentido de que se precisa un ataque muy severo para que la pérdida de sección de la armadura llegue a ser peligrosa. Por lo general la reparación puede hacerse con calma y tras un estudio completo para detectar las causas. Sin embargo es conveniente recordar que esta patología no se arregla por sí misma y que hay que actuar necesariamente, aún sin prisa. Lo mejor es evitar este problema utilizando concreto compacto, con recubrimientos adecuados y cementos de alto contenido de cal si el ambiente es agresivo. Una vez de que produce la patología hay que sanear el concreto dañado y reconstruirlo con un concreto o mortero adecuado, protegiendo la superficie con un producto especial.

Las fisuras por corrosión no pueden ser inyectadas o selladas. Debe rehabilitarse el elemento para frenar la corrosión mediante los siguientes pasos: Sanear, Reparar / Reforzar, Proteger.

3.7.2 Resistencia a la Durabilidad

Deformaciones del Concreto a lo largo del tiempo:

Retracción (Shrinkage)

El Concreto al fraguar disminuye su volumen. Si la estructura tiene su disminución de dimensiones coartada puede romperse. La estructura se romperá por la zona más débil.

Características:

- Aparición retardada, meses y a veces años.
- Más frecuentes e importantes en elementos situados en zonas secas y soleadas.
- A veces es muy difícil de distinguir su origen por retracción o por efectos térmicos.
- Son regulares, con anchura prácticamente constante y normalmente se estabilizan muy rápidamente, por lo que cuando el técnico interviene suelen ser muertas.
- Su forma depende del armado del elemento.
- No suelen tener riesgo estructural, pero sí de durabilidad.

El concreto disminuye su volumen en el tiempo, debido a pérdidas por procesos como:

- **Retracción por Secado:** Se debe a la evaporación del agua libre de absorción y al agua capilar produciendo contracciones que suelen ser reversibles y por la remoción del agua de absorción provocando contracciones permanentes.

- **Retracción Autógena:** Consisten en el cambio de volumen debido a la hidratación del cemento que no reaccionó con el agua en el momento de la mezcla.

- **Retracción por Carbonatación:** Originada por el contacto del concreto con el Bióxido de Carbono Atmosférico, CO_2 , formando carbonatos y disminuyendo el volumen del concreto.

Fluencia Plástica (Creep)

El flujo plástico es el incremento en la deformación dependiente del tiempo, que se presenta cuando este se sujeta a una carga sostenida. Una parte de esta deformación es reversible pero un porcentaje se conserva aún después de ser descargado el elemento. El flujo plástico se puede causar por:

- **Deformación de los agregados:** Producido cuando se utilizan agregados de mala calidad.

- Transmisión de Microfisuras interfaciales: En la región de contacto entre los agregados y pasta existen microfisuras y discontinuidades que se propagan con la aplicación de la carga incrementando el flujo plástico.
- Deformación de la pasta: Se crean Macrofisuras debido a la concentración local dentro de la matriz de concreto. Esto origina una reacomodación del concreto y ayuda a disminuir el flujo plástico.
- Cierre de vacíos internos por secado: Si un esfuerzo de compresión es aplicado en el material se genera incremento en la presión interna y las moléculas empiezan a migrar hacia fuera, de manera que el tamaño de los vacíos disminuye presentándose un incremento en las tensiones. Este caso es el que más influye en el flujo plástico.

Los factores que más afectan la retracción y flujo plástico son:

- Las propiedades inelásticas del concreto.
- La continúa redistribución de esfuerzos.
- La naturaleza heterogénea de las propiedades del concreto debido a sus materiales y a la elaboración del mismo.
- El efecto del acero de refuerzo en concreto reforzado.
- El contenido de humedad relativa.
- La temperatura del medio ambiente.

Efectos no deseados en estructuras de concreto:

- Aumento de las deflexiones debido a retracción y fluencia plástica de la zona de compresión (ej. en vigas y losas).

- Aumento de la curvatura de columnas cargadas excentricamente debido a fluencia plástica, con efecto de aumento de la excentricidad de la carga y disminución de la capacidad de carga de la columna.
- Pérdida de fuerza de tensionamiento en elementos de concreto preesforzados debido a retracción y fluencia plástica.
- Redistribución de esfuerzos por retracción y fluencia de un elemento a otro elemento constructivo unido rígidamente a él. (Ej. revestimiento de muros, puentes atirantados)
- Fisuras en superficies externas debidas a esfuerzos propios de retracción.

Los Estados Unidos es el país donde se ha trabajado con más detalle esta patología, ya que organismos como el ASTM, se ha encargado de realizar centenares de pruebas de laboratorio con el fin de publicar métodos, mientras que el ACI se ha dedicado a analizar la parte teórica del problema. Entre los documentos más importantes están:

- La American Society for Testing and Materials (ASTM) posee un método para la medición de la retracción del flujo plástico en morteros de Cemento Portland (ATM -596) y otro para la medición de la retracción del concreto bajo compresión (ASTM – 512).
- El Informe ACI – 209R92, brindá una guía para estudiar los fenómenos de retracción y flujo plástico.

3.7.3 Mecanismos de Descomposición

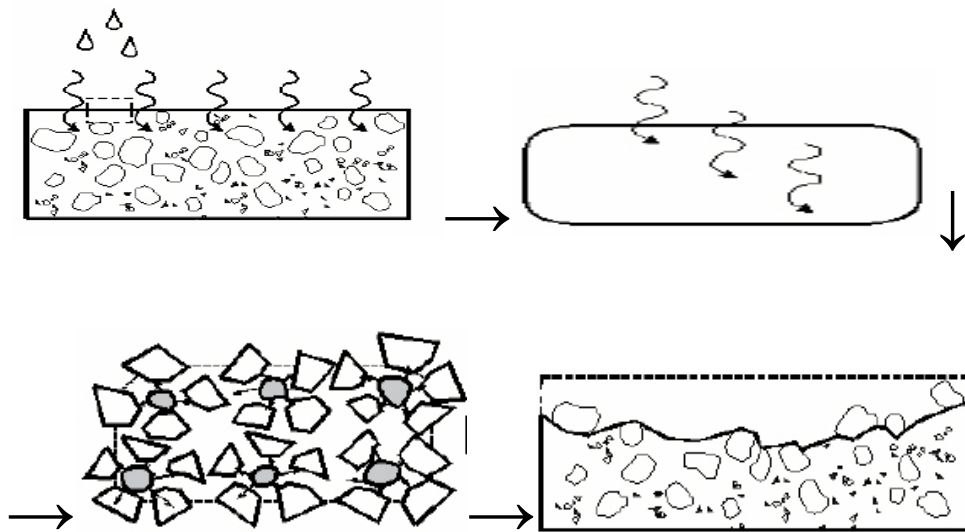
Entre las principales características que se presentan y por las cuales se puede reconocer este tipo de patologías son: Expansión de la matriz cementosa, expansión del agregado, expansión de los capilares. Los factores más importantes que pueden llegar a producir esta patología son:

Sulfatos

Los sulfatos son las sales de anión sulfato SO_4 . Este puede estar presente en aguas negras industriales en forma de disolución diluida de ácido sulfúrico, en aguas del subsuelo, especialmente en los terrenos arcillosos y en el agua de mar.

En el ataque por sulfatos el agente agresivo empieza por atacar los granos de clinker hidratados. La acción de los sulfatos sobre el cemento Pórtland puede dar lugar a tres tipos de compuestos: yeso, ettringita y taumasita. La formación de ettringita se produce a partir de la reacción de los iones sulfato (Yeso) con los aluminatos del cemento, lo cual crea una expansión que produce la descomposición de la masa de concreto con pérdida importante de resistencias.

FIGURA 69. ACCIÓN DE LOS SULFATOS.



Fuente: Jorge Zambrano López ²³.

En el anterior proceso se lleva a cabo la formación de yeso a partir de la reacción de sulfatos no Calcicos (Sodico, Magnesico) con el hidróxido de calcio de la pasta de cemento produce hidrato sulfato de calcio (yeso secundario) y posible formación de etringita.

Los síntomas básicos de la expansión por ataque de sulfatos, son microfisuras y fisuras aleatorias en la masa de concreto afectada, descascaramiento, ablandamiento de la masa, pérdida de resistencia y de rigidez. En este caso, también se observa una reducción del pH del estrato acuoso de los poros superficiales, con riesgo de despasivación de la capa de recubrimiento del acero de refuerzo ²³.

FIGURA 70. ASPECTO DE UN CONCRETO DETERIORADO POR EXPANSION DEBIDA AL ATAQUE DE SULFATO.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁵.

Agua de Mar

El agua de mar contiene Ion sulfatos (SO_4), Ion magnesio (MgCl), Cloruro Sodico (NaCl), que son compuestos que pueden ocasionar serios daños al entrar en contacto con el concreto.

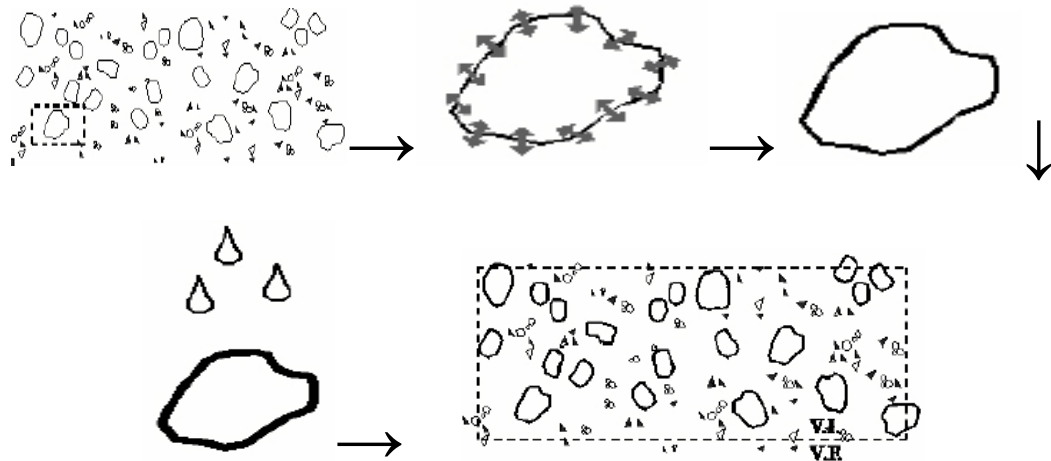
A pesar del contenido de sulfato no hay ataque directo al concreto. Los cloruros rebajan la agresividad del sulfato y el Magnesio precipita como hidróxido, colmatando poros. Ataque solo si hay alto contenido de aluminatos y concreto de baja calidad.

Reacción Álcali - Agregado

Consiste en la reacción de los álcalis del cemento (Hidróxido de Sodio y Potasio) con agregados que contienen sílice poco cristalizada o amorfa.

Se crea una expansión por formación de silicatos expansivos que producen descomposición, cuarteamiento de la masa de concreto.

FIGURA 71. PROCESO DE REACCIÓN ÁLCALI – AGREGADOS.



Fuente: Jorge Zambrano López ²³.

Los síntomas básicos de la expansión por la reacción álcali – agregado, son una expansión generalizada de la masa de concreto con fracturas superficiales, profundas y aleatorias para estructuras masivas; y fracturas ordenadas para elementos delgados ²³.

FIGURA 72. EJEMPLO DE LA ACCIÓN DE LOS ÁLCALI – AGREGADOS.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁵.

Descomposición De Cal y Magnesio

Formación de Hidróxido de Calcio o de Magnesio por Reacción de Oxido de Calcio o de Magnesio con Humedad. Se crea Expansión o Aumento de volumen que produce descomposición, Cuarteamiento de la masa de concreto.

Curado Extensivo con Calor

Proceso para acelerar el curado del concreto por medio del calor. Se pueden producir daños en forma de fisuras y descomposición entre agregado y pasta de cemento cuando:

- Falta o Cortos Tiempos de Almacenamiento.

- Alta Velocidad de enfriamiento o Calentamiento.
- Sulfatos sin Reaccionar.

3.7.4 Compacidad

Con relación a la compacidad esta depende la relación agregado - cemento, la dosificación de cemento, la relación agua - cemento y el aire incluido.

Influencia de la relación agregado - cemento.

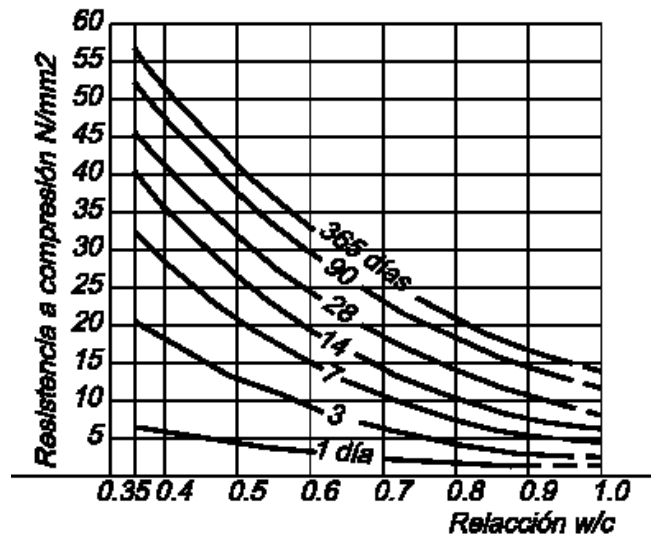
- Granulometrías adecuadas: Son especialmente malas las que carecen de diámetros comprendidos entre 0.8 y 0.25 mm. Y las que contienen excesos de fracciones finas.
- Una granulometría incorrecta puede compensarse con más cemento, es preciso ser especialmente cuidadoso con la disposición constructiva, puesto que se producirá mayores retracciones.
- El árido debe ser compatible con las distancias entre armaduras, entre encofrados y armaduras.

Influencia de la dosificación de 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.

Influencia de la relación Agua-cemento.

FIGURA 73. RELACIÓN A/C VS. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.



Fuente: Juan Pérez Valcárcel ¹⁹.

Mínimo teórico $A/C = 0.18$

Mínimo real $A/C = 0.30-0.40$

Cuando se presenta un exceso de agua el concreto presenta mayor porosidad, menor resistencia, mayor retracción y en consecuencia mayor riesgo de ataque por agentes químicos externos que puedan afectar el armado.

Aire Incluido

Muchas veces en nuestro pensar no tenemos en cuenta que también es importante una buena relación del aire incluido en el hormigón el cual debe estar entre el 2 y el 5%. Este presenta problemas cuando se pasa de las proporciones estipulados debido a que disminuye la compacidad y la resistencia del hormigón, pero puede traer beneficios si el hormigón esta presente en zonas de hielo-deshielo. Pueden usar en aditivos aireantes con el fin de bajar la relación agua cemento y mejorar el comportamiento del hormigón ante las dilataciones.

3.7.5 Proceso de Corrosión

La Corrosión ocurre cuando el cloruro o las sales atacan al concreto armado; como consecuencia se produce la oxidación del acero, el cual aumenta de 2-4 veces su volumen lo cual produce tensiones que se manifiestan en grietas en el concreto, y que son las que aceleran el ataque por agentes externos a la estructura. Las posibles causas de la corrosión son: La falta de mantenimiento, los defectos de diseño o de construcción y también la atmósfera ácida de la ciudad, la presencia de aguas y compuestos orgánicos que suele deteriorar los materiales.

Tanto cuando se trata de los ornamentos, como de las barandas o carpinterías, el proceso de corrosión siempre es el mismo: una vez que ingresa el agua, el hierro se oxida y aumenta su volumen y como presiona al revoque y al concreto, lo fisuran y luego lo quiebran. Como se trata de un proceso irreversible hay que repararlo totalmente: no basta con hacer un tratamiento superficial y luego pintar. "No siempre es fácil detectar por dónde se filtra la humedad, hace falta un

estudio exhaustivo que señale cuál fue la causa. Una vez que se filtra el agua se inicia el proceso de corrosión, que no se detiene sin una intervención adecuada.

FIGURA 74. EJEMPLO DE CORROSIÓN.



Fuente: Harold Alberto Muñoz ¹¹.

Causas:

Se produce este fenómeno por defectos del concreto (Fisuras, Alta Porosidad, Hormigueros, Juntas Inadecuadas, Deficiente Recubrimiento del Refuerzo), por ataques químicos de diversos medios agresivos, por ingreso de halógenos.

3.7.5.1 Ataques químicos de diversos medios agresivos

Las fuentes de Corrosión más frecuente son:

- Corrosión por Gases Atmosféricos

Combustibles de carbón o petróleo

Gases industriales

Generalmente se trata CO_2 que con el agua produce CO_3H_2 o SO_2 que produce SO_4H_2 que atacan al concreto.

➤ Corrosión por Agua

Aguas Puras: Atacan al concreto por disolución

Aguas ácidas 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.

Agua de Mar: Produce una desagregación muy grave por disolución del cemento.

Proceso:

- Cambios de color.
- Fisuras entrecruzadas.
- Abombamiento de la superficie.

Soluciones:

- Concretos muy compactos.
- Cementos con $\text{AC}_3 < 7$.
- Recubrimientos adecuados.

➤ Corrosión por Componentes Orgánicos

Componentes nocivos:

- Aceites y grasas
- Leche y Mantequilla
- Vino y derivados
- Cerveza

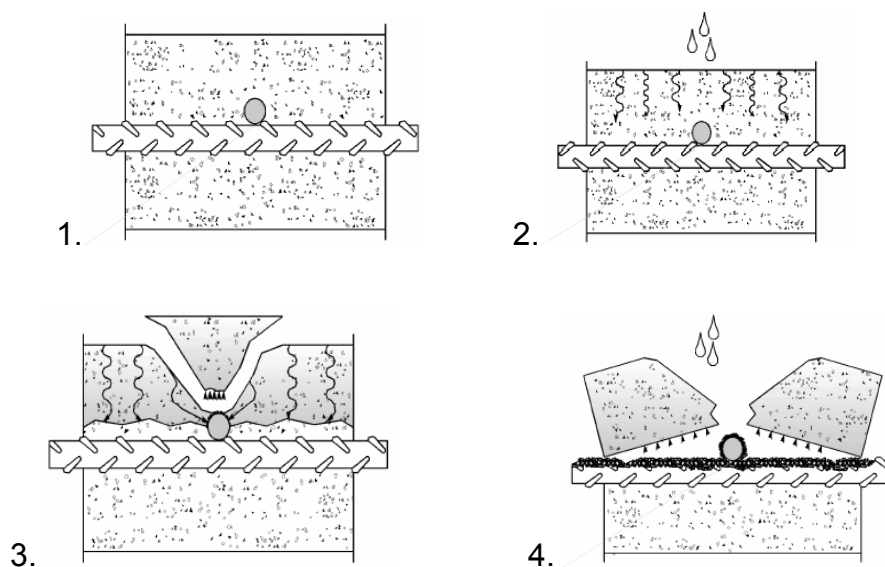
Producen ácidos que atacan al concreto y a veces a la armadura. Debemos tenerlo muy en cuenta si se pretende diseñar estructuras de concreto que sirvan de contenedores de estos productos.

3.7.5.2 Corrosion Por el Ingreso de Halógenos (Cloruros)

Entre las posibles fuentes están: Ambientes Marinos, Sales, Incendio de PVC, Aditivos acelerantes (CaCl_2). El Ion cloruro puede penetrar a través de: Permeabilidad y Absorción Capilar, y Difusión.

Entre los factores que afectan la penetración del Ion cloruro: Concentración de cloruros, Permeabilidad del concreto (relación a/c, curado) y el Tipo de ligante del cemento (C_3A)²³.

FIGURA 75. INGRESO DE CLORUROS.



Fuente: Jorge Zambrano López ²³.

TABLA 1. VALOR CRÍTICO DE CLORUROS EN CONCRETO REFORZADO.

PAIS	NORMA	LIMITE MAX. DE Cl ⁻	REFERIDO A
USA	ACI 318	≤ a 0.15% en ambiente de Cl	Cemento
USA	ACI 318	≤ a 0.3% en ambiente normal	Cemento
USA	ACI 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 2	≤ al 0.22%	Cemento
JAPON	JSCE-SP 2	≤ al 0.6 Kg/m ³	Concreto
BRASIL	NBR 6118	≤ al 0.05%	Agua

Fuente: Jorge Zambrano López ²³.

3.7.5.3 Mecanismos de Corrosión de las Armaduras

Corrosión química = Poco Frecuente

Corrosión electroquímica = Es el mecanismo habitual

Mecanismo básico de protección de la armadura: Al fraguar el cemento da Ca(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.

Para que se produzca la corrosión electroquímica es necesario:

- Oxígeno.
- Humedad.
- Iones cloro que actúan como electrolitos: Un mecanismo importante para la corrosión es la difusión de los iones cloro, que son imprescindibles como electrolito. Los iones cloro se difunden en especial a través de poros llenos de agua. El hormigón se moja superficialmente y al secarse las sales de cloro se fijan en los poros. Al mojarse nuevamente aumenta la concentración de iones cloro y el proceso va incrementándose progresivamente, dependiendo sobre todo de la permeabilidad del recubrimiento.
- Destrucción de la capa pasivante = Carbonatación.

Carbonatación: Es la reacción del dióxido de carbono de la atmósfera con el hidróxido de Calcio del Concreto (Cal Libre) que ha liberado el clinker de cemento durante su proceso de hidratación.

La carbonatación va avanzando progresivamente con el tiempo en la medida en la que el oxígeno, anhídrido carbónico, humedad e iones cloro van penetrando a través de la red de poros intercomunicados que siempre tiene el concreto superficialmente.

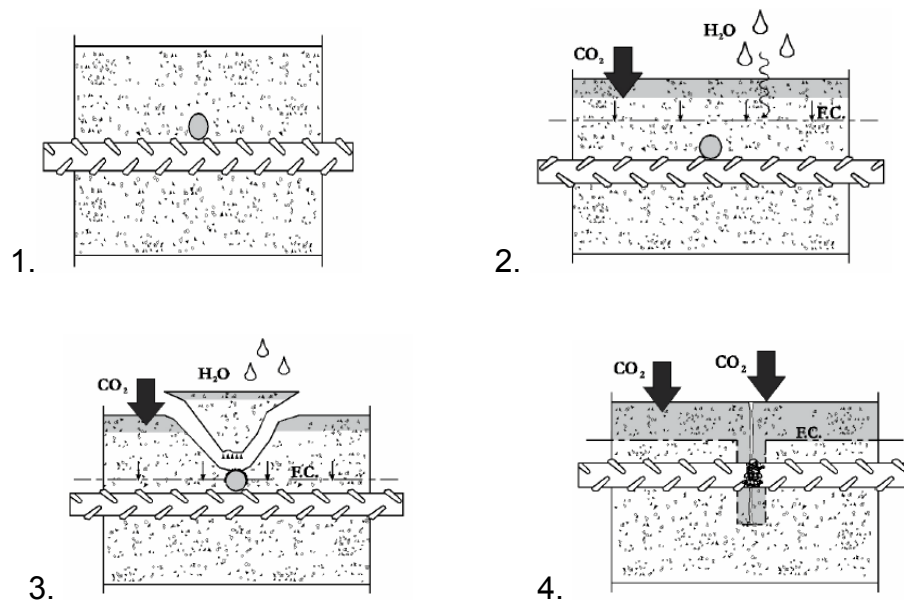
FIGURA 76. MUESTRA PARA EL ENSAYO DE CARBONATACIÓN.



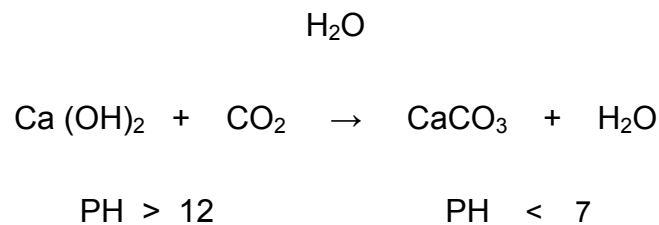
Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

La carbonatación también causa una baja del PH del recubrimiento del Concreto, lo que conlleva a la pérdida del medio protector (Pasivador) alrededor del refuerzo.

FIGURA 77. PROCESO DE CARBONATACIÓN.



Fuente: Jorge Zambrano López ²³.



Factores que afectan la variación de carbonatación:

- Contenido de CO₂ en la atmósfera
- Humedad relativa y contenido de humedad del concreto
- Contenido y tipo de cemento
- Permeabilidad del concreto
- Relación agua/cemento
- Colocación y consolidación del concreto
- Curado ²⁴.

3.7.6 Patologías en Losas

El sistema de losa puede estar apoyado sobre vigas o muros cuando se trata de losas en una dirección y sobre columnas, vigas o muros cuando se trate de sistemas en dos direcciones. La construcción con nervaduras o aligeradas consisten en una combinación monolítica, o prefabricada, de nervios espaciados regularmente, en una o dos direcciones, y de una loseta superior que actúa también en una o en dos direcciones de acuerdo con la acción de las viguetas.

El daño más común es el paralelo a los nervios. El tipo de losa más común en el medio es la losa nervada en una sola dirección. Los daños en escaleras ocurren siempre en las cercanías de los apoyos y en los lugares donde existe el cambio de dirección de la directriz de la losa de escalera.

Punzonamiento

Patología consistente en que debido al poco espesor de las losas, estas no tienen la suficiente resistencia, ni rigidez, que deberían tener al enfrentar un caso extremo de solitud de capacidad. Por ello, lo que hacen es deslizarse alrededor de la columna, para caer unas sobre otras, lo que provoca que edificios de gran altura queden reducidos a prácticamente un solo piso. Por esto es muy importante detectar este tipo de daño a tiempo, ya que puede ocasionar en cuestión de segundos el colapso de la estructura.

FIGURA 78. EJEMPLO DE PUNZONAMIENTO.



Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

3.7.7 Patologías en Vigas de amarre

Las vigas de amarre se diseñan y construyen con el fin de soportar esfuerzos de tensión y para como su nombre lo indica, amarrar otros elementos como el ladrillo o el bloque de cemento haciendo que estos trabajen unificadamente.

Errores constructivos: Normalmente las vigas de amarre presentan fallas de origen constructivo causado por los Concretos de baja calidad o pobres como consecuencia del uso de: Arenas con alto contenido de sustancias orgánicas, Arenas blancas, ricas en cuarzo, Arenas contaminadas y/o en cantidades inadecuadas, Gravas o balastros con los mismos problemas de las arenas, Concretos con hormigueros o mal vibrados.

Errores Estructurales:

La poca importancia que generalmente se le da a las vigas de amarre nos lleva con mucha frecuencia, a no hacer ningún análisis de las mismas, por lo cual encontramos los siguientes errores:

- Insuficiencia del refuerzo.
- Refuerzo discontinuo.
- Traslapes insuficientes del refuerzo, tanto en tramos centrales como en las esquinas.
- Mala localización del refuerzo en la sección de concreto ⁵.

3.8 PATOLOGIAS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

3.8.1 Patologías en Techos o Cubiertas

Las causas principales de los daños y fallas en las cubiertas se deben a cubiertas demasiado pesadas, techos mal reforzados ante la acción del viento, debilidad o ausencia total de anclaje con las vigas corona y/o con los muros y mala distribución de cargas.

Entre las causas de las principales fallas que se presentan en los techos o cubiertas, así como recomendaciones para su reparación, se encuentran las siguientes:

- Cargas, materiales y mantenimiento: Generalmente las estructuras de los techos son muy pesadas y soportan cargas como el peso propio de la madera y caña brava.

➤ Errores constructivos:

- Reducción considerable de las secciones transversales de las vigas, correas, durmientes, etc., que debilitan estos elementos.
- Utilización de maderas verdes que al secarse deforman la estructura creando fallas en las uniones con los otros elementos de la construcción.
- Mala colocación de las tejas permitiendo el paso del agua que pudre la madera.

➤ Errores Estructurales:

- El uso de maderas de baja calidad o de dimensiones inadecuadas que carecen de resistencia suficiente para soportar esfuerzos de trabajo.
- Falta de amarre a la estructura de soporte, ya sea a los muros con su respectiva viga de amarre en la corona, o la viga de carga.
- Falta de arrojamiento entre las diferentes vigas o cerchas, lo cual hace que la estructura no se comporte como un todo.

Los defectos citados pueden causar el colapso total o parcial del techo al ser sometido a cargas sísmicas.

Techos planos:

Son muy propensos a tener problemas, porque la velocidad de escurrimiento del agua de lluvia es en ellos muy baja, lo que da tiempo al ingreso de la misma ante cualquier grieta u orificio. Entre otros elementos, están provistos de las membranas preformadas de polietileno (se

conocen como "lamiplast", debido a una marca en especial). Se trata de un producto que, en caso de ser de buena calidad y estar correctamente colocada soluciona perfectamente el problema de filtraciones. Sin embargo, es necesario comentar algunas cuestiones:

Techos de Tejas:

Existe gran variedad de tipos de tejas, y cada una de ellas tiene características y requerimientos especiales. Tradicionalmente, las tejas se construían de material cerámico, pero actualmente (además de las cerámicas esmaltadas) existen tejas de pizarra, metálicas y también asfálticas, todas ellas en una amplia gama de colores. Algunas recomendaciones:

- En efecto, estos techos funcionan bien únicamente con fuertes pendientes, que dependen del tipo de teja elegido. La española es la que menos inclinación necesita, siguiéndole luego la francesa y la plana. Sobre todo sobre estructura de madera, las pendientes adecuadas hacen la diferencia entre un buen o mal diseño básico.
- Tenga cuidado con la calidad del producto, sobre todo para tejas francesas y planas, un producto defectuoso o de segunda selección es determinante para los resultados.

3.8.2 Patología en Muros de ladrillos o bloque

Muchos de los deterioros y fallas presentes en los muros son causados por los diferentes agentes patológicos a medida que van pasando los años. Otros factores muy importantes son las variaciones y

modificaciones hechas a las estructuras, las cuales alteran el comportamiento estructural con la que la edificación fue concebida inicialmente, generando esfuerzos que no pueden ser soportados por los muros. Por último se presentan fallas debido a la mala construcción de la edificación, lo cual poco se presenta en las edificaciones antiguas, pues clara evidencia de su buena técnica es la presencia de edificaciones de más de un siglo que no han sufrido modificaciones en su estructura y aun se mantienen en pie, sin embargo no se debe descartar este factor. Las grandes paredes de mampostería no reforzada deben evitarse, pues se ha demostrado en múltiples ocasiones que resultan inestables.

FIGURA 79. LOS MUROS Y LAS FACHADAS NO TIENEN LA ADECUADA RELACIÓN CON EL COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.



Fuente: Harold Alberto Muñoz ¹¹.

Cargas

Los muros de mampostería normalmente resisten cargas verticales sin mayor riesgo de falla, pero cuando se ven sometidos a cargas laterales producidas por el viento tiene la tendencia a fisurarse y/o volcarse como consecuencia de no haberlos arriostrado adecuadamente, además de una típica mala calidad de nuestros ladrillos, bloques y mortero de pega.

Errores Constructivos

Generalmente los muros presentan los siguientes errores constructivos:

- Longitudes excesivas sin apoyos transversales o sea, falta de machones de ladrillos o concretos.
- Deficiencia o ausencia de amarre.
- Exceso de vanos para puertas y ventanas.
- Falta de humedad en el ladrillo que se pega.
- Cuando el muro es de bloque, este se debe pegar seco.
- Ausencia de traba tanto en las intersecciones de muros como entre los ladrillos.

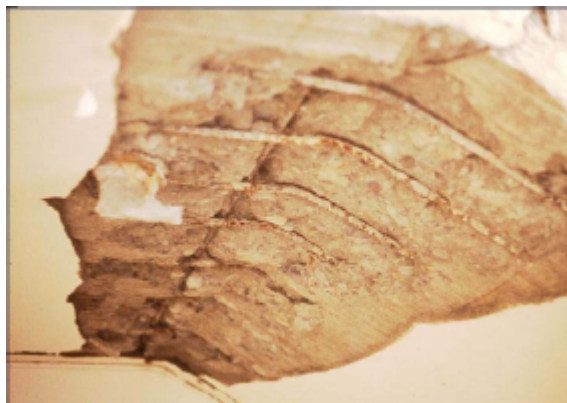
Errores Estructurales

- Exceso de carga soportada.
- Ausencia de elementos que distribuyen la carga en el muro.
- Defectos en la cimentación del muro ⁶.

3.8.3 Patología en Escaleras

Las escaleras de una edificación prestan un servicio único pero por sobretodo constituyen el medio por el cual los ocupantes de una edificación pueden evacuarla después de ocurrido una falla o colapso, es decir, son elementos muy importantes que requieren el mayor cuidado no solo por su diseño sino en su construcción. Al ser placas inclinadas deben estar en condiciones de desarrollar integridad con el resto de la edificación y poseer continuidad en sus extremos, es decir, deben contener refuerzo tanto en la parte inferior como superior además que su figuración debe garantizar la continuidad del refuerzo a lo largo de su longitud.

FIGURA 80. DAÑO EN ESCALERAS POR EL INAPROPIADO DESPIECE.



Fuente: Omar Darío Cardona ².

En el diseño de toda estructura debe considerarse que los elementos no estructurales de la construcción, tales como cielos, paneles, barandas, ventanas, puertas, etc., así como equipos, instalaciones mecánicas y sanitarias, etc., deben soportar los movimientos de la estructura. Por otra parte, debe tenerse presente que la excitación de los elementos no

estructurales, dada por dichos movimientos en la estructura, es en general mayor que la excitación en la base, por lo cual puede decirse que la seguridad de los elementos no estructurales se encuentra más comprometida en muchos casos que de la estructura misma.

A pesar de lo anterior, en el diseño de estructuras se concede generalmente poca importancia a las escaleras, al punto de que muchos códigos de diseño no incluyen normas de diseño al respecto. Quizás debido a ello la experiencia muestra en muchos casos un excelente comportamiento de la estructura diseñada de acuerdo a los modernos criterios de sismo – resistencia, acompañado por desgracia de una deficiente respuesta de los elementos no estructurales. Sin embargo, si se tiene en cuenta las razones de seguridad de los ocupantes de una edificación y los transeúntes expuestos al riesgo de colapso de tales elementos, así como el costo de reposición de los mismos y las pérdidas involucradas en la suspensión de funciones del edificio mismo, puede comprenderse la importancia de considerar adecuadamente el diseño de los elementos no estructurales dentro del proyecto general de la edificación.

3.9 PATOLOGIAS POR FALLAS CIEGAS

Son las fallas que no alcanzan la superficie y por lo tanto no son fácilmente detectables. Estas fallas han demostrado ser muy importantes desde el punto de vista de la amenaza sísmica, sin embargo, debido a su pobre expresión en superficie sólo recientemente se han empezado a considerar en estudios de riesgo en algunos lugares alrededor del mundo.

Las fallas ciegas pueden reconocerse a partir de métodos indirectos que incluyen:

- Cartografía geológica y geomorfológica detallada.
- Análisis morfométricos del paisaje.
- Análisis del plegamiento asociado con la falla, si existe.
- Análisis de drenaje.
- Estudios geofísicos.
- Estudios de sismicidad local.

La aplicación de estas metodologías es más eficiente en zonas con cubierta sedimentaria reciente. En Colombia, diferentes regiones que incluyen la Sabana de Bogotá, el Valle de Cauca, el Quindío y el Noroccidente antioqueño, son prioritarias para iniciar un estudio sistemático de detección y análisis del potencial de fallas ciegas.

3.9.1 Fallas Ciegas

Desde el punto de vista de su interacción con la superficie las fallas geológicas pueden clasificarse en: aflorantes o evidentes, escondidas y ciegas. Una falla que aflora es una falla que alcanza y rompe la superficie, presentando una fractura en el terreno que puede ser reconocida con relativa facilidad por observación directa en campo. Comúnmente, la evaluación de la amenaza se basa en el análisis de las características de este tipo de fallas.

Las fallas que no poseen expresión evidente en superficie son las denominadas fallas escondidas y ciegas. Una falla escondida es una falla

en la cual alcanza la estructura y rompe la superficie pero que no muestra una relación clara con la geomorfología.

Por el contrario, una falla ciega es una falla que no alcanza a llegar a la superficie y por lo tanto su expresión geomorfológica es muy pobre o aparentemente nula, haciéndola muy difícil de reconocer por medio de métodos convencionales ²⁵.

3.9.2 Métodos para detectar fallas ciegas

- Cartografía geológica y geomorfológica detallada.

El principal fin de la cartografía geológica y geomorfológica detallada en este tipo de estudios es establecer y delinear depósitos Cuaternarios y unidades geomorfológicas para delimitar sitios con posible deformación tectónica que no está relacionada con fallas reconocidas. Estos sitios pueden sugerir la presencia de fallas subyacentes que no alcanzan la superficie.

En zonas con topografía elevada se utilizan análisis morfométricos de los perfiles longitudinales de las terrazas y a lo largo de rasgos topográficos elevados. El propósito de estos análisis es detectar basculamiento de terrazas, y la localización de anomalías topográficas que pueden ser indicativas de diferentes tasas de deformación, basculamiento producido por deformación diferencial o deformación tectónica en general (Bullard y Lettis, 1993).


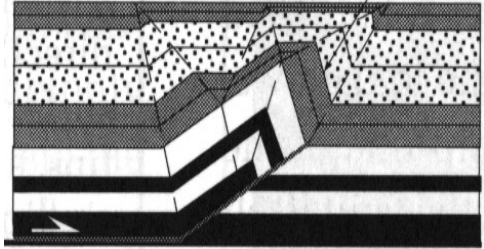
- Pliegues asociados con fallas ciegas.

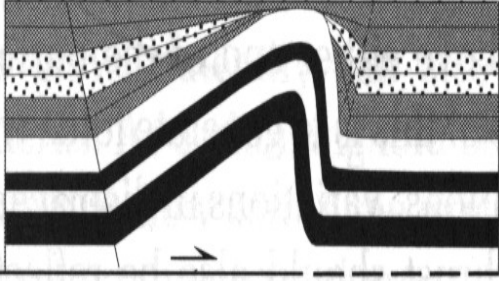
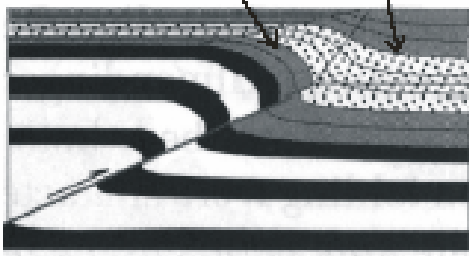
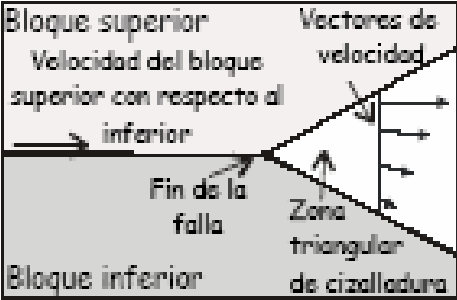
Los pliegues relacionados con las fallas ciegas se constituyen como la única evidencia de este tipo de falla en superficie. Este tipo de pliegues es creado principalmente por fallas ciegas inversas.

Los pliegues se desarrollan cuando hay interacción entre rocas que se fracturan y rocas que se deforman dúctilmente. Esta situación se presenta en zonas con gruesa cubierta sedimentaria, en donde las rocas más profundas tienen la cualidad de fracturarse pero las rocas más cercanas a la superficie y menos litificadas se deforman sin fracturarse, asemejando un comportamiento dúctil.

Diferentes autores (Suppe, 1983; Jamison, 1987; y Erslev, 1991, entre otros) han propuesto diferentes modelos para explicar el origen y la geometría de los pliegues asociados con este tipo de falla. La importancia de estos modelos está en que relacionan la forma del pliegue (que puede ser directamente observada en superficie o por medio de estudios geofísicos) con la geometría de la falla ciega (que puede no ser observable ni siquiera con estudios geofísicos) y que se constituye como un parámetro muy importante en evaluaciones de la amenaza sísmica ²⁵.

TABLA 2. BREVE DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS DE LOS PRINCIPALES MODELOS DE PLIEGUES ASOCIADOS CON FALLAS CIEGAS. (LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE CADA MODELO FUE TOMADA DE BURBANK Y ANDERSON, 2001).

MODELO	BREVE DESCRIPCION
<p data-bbox="300 501 596 533">Pliegue de Flexión</p> 	<p data-bbox="834 501 1370 808">-Pliegue simétrico causado por deformación sobre una rampa estructural formada en una falla inversa. El pliegue se desarrolla por el cambio en el buzamiento de la falla.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="834 831 1370 1032">- El pliegue resultante desarrolla flancos rectos y zonas axiales estrechas conocidas como geometría <i>kink band</i>.
<p data-bbox="300 1055 767 1086">Pliegue de Propagación de Falla</p> 	<p data-bbox="834 1055 1370 1196">-Pliegue asimétrico causado por la propagación de una falla ciega hacia superficie.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="834 1218 1370 1308">-La falla cambia de buzamiento en profundidad. <li data-bbox="834 1330 1370 1532">- El flanco frontal del pliegue, por encima de la falla, se mantiene constante durante el crecimiento, no cambia de inclinación. <li data-bbox="834 1554 1370 1695">- La proyección en superficie de la falla termina en el sinclinal producido durante el proceso. <li data-bbox="834 1718 1370 1919">- Se presenta un prominente flanco posterior como consecuencia del cambio del buzamiento de la falla en profundidad. <li data-bbox="834 1942 1370 1977">- Este pliegue también desarrolla

	geometría <i>kink-band</i>
<p>Pliegue de arrastre</p> 	<p>-Este pliegue puede ser simétrico o asimétrico. Se produce encima de una falla que es paralela o subparalela a estratificación.</p> <p>-El pliegue se desarrolla porque el desplazamiento disminuye hacia el final de la falla.</p>
<p>Pliegue de Tricizalladura</p> <p>Zona triangular de crecimiento</p>  	<p>- Este tipo de pliegue se desarrolla cuando una zona triangular de cizalladura, que es simétrica con respecto al buzamiento de la falla, se propaga en frente del plano de falla.</p> <p>- Dentro de la zona de tricizalladura ocurren desplazamientos diferenciales que varían en orientación y magnitud (como se muestra en esquema arriba). En la parte superior de la zona, los vectores de deslizamiento son iguales que el deslizamiento en la falla pero disminuyen progresivamente en magnitud hasta que no se produce deslizamiento en el límite inferior de la zona de tricizalladura.</p> <p>- La tasa de desplazamiento relativa entre la propagación del final de la falla (P) y su desplazamiento (S) causa que el espesor de las capas y</p>

	<p>el buzamiento del flanco frontal varíen a medida que el pliegue crece.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Para que se forme un pliegue tricizalladura no es necesario que la falla cambie de buzamiento en profundidad. - La proyección en superficie de la falla termina en el sinclinal producido durante el proceso.
--	--

Fuente: Beatriz Estrada, Jarg Pettinga, Jocelyn Campbell ²⁵.

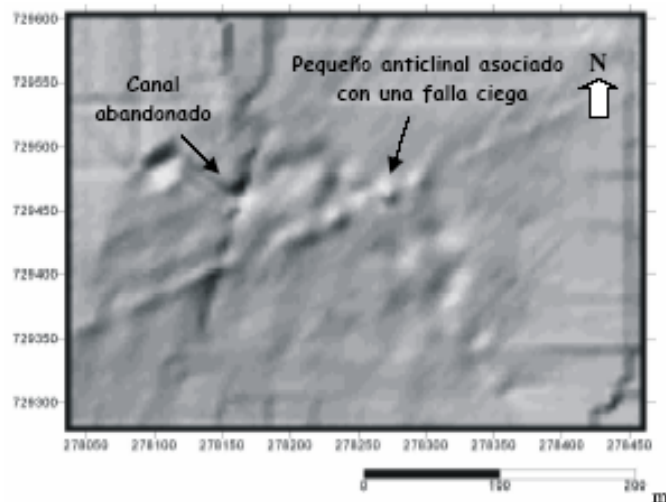
➤ Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)

Cuando el plegamiento causado por una falla ciega no es muy pronunciado y no aflora claramente en la superficie, pueden utilizarse levantamientos con Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) de alta precisión para detectar concavidades en el terreno que pueden estar directamente relacionadas con el plegamiento causado por la falla. No es el propósito de este artículo explicar a fondo esta tecnología, para lo cual existen textos avanzados, pero se recomienda que para este tipo de análisis se utilice levantamientos con GPS en modo *carrier* con los que sea posible efectuar una corrección diferencial con el fin de alcanzar una precisión en la vertical hasta de 10 cm.

Los levantamientos con GPS permiten elaborar superficies en las que se observan características muy detalladas del terreno como se observa en la Figura, a continuación presentada. En esta Figura se ilustra un micro

anticlinal relacionado con una falla ciega y un canal abandonado posiblemente relacionado con los procesos tectónicos asociados con esta estructura.

FIGURA 81. LEVANTAMIENTO EN GPS MOSTRANDO UN PEQUEÑO ANTICLINAL RELACIONADO CON UNA FALLA CIEGA Y UN CANAL ABANDONADO.



Fuente: Beatriz Estrada, Jarg Pettinga, Jocelyn Campbell ²⁵.

➤ **Análisis de drenaje**

Cuando la expresión de la deformación tectónica causada por la falla es muy sutil en superficie el drenaje se constituye en una herramienta básica para su reconocimiento. El drenaje es un indicador muy útil de procesos tectónicos porque los ríos son muy sensibles a cambios en su gradiente. Las características del drenaje pueden reflejar la deformación asociada con pliegues y fallas que no es evidente en el terreno.

➤ **Análisis Geofísicos**

Este tipo de estudios es más costoso que los descritos anteriormente, sin embargo, en caso de poderse realizar, constituyen una herramienta muy valiosa en estudios de detección de fallas ciegas. Los métodos geofísicos más aplicables en este tipo de análisis incluyen el método de reflexión sísmica, ya sea profunda o superficial, y el radar de penetración de suelo (*Ground Penetration Radar, GPR*) ²⁵.

3.10 PATOLOGIAS POR USO

El comportamiento real de una estructura y su seguridad bajo las cargas y condiciones previstas de servicio, se fundamentan en un buen diseño, el uso de los materiales indicados, y la calidad de la construcción. De acuerdo con el concepto de “Vida útil de servicio”, existe un período de tiempo para el cual la estructura se considera vigente hasta que se completa un cierto y determinado nivel aceptable de deterioro, bajo las condiciones de uso.

Sin embargo, en la práctica la vida útil de servicio, puede acabar antes del tiempo previsto por “abuso” de la estructura (por ejemplo, incremento de las cargas permitidas, o acción de fenómenos accidentales como impactos, explosiones, inundaciones, fuego, u otros); o por “Cambio de Uso” (por ejemplo, cambio de las cargas de servicio y/o cambio de las condiciones de exposición). Aunque hay que reconocer que las condiciones de servicio y el envejecimiento y deterioro de los materiales como el concreto, en la realidad, son impredecibles.

El concreto es un material a que a pesar de tener propiedades, que le dan gran resistencia y rigidez a la estructura, también con el uso continuo y la aplicación constante de cargas de toda índole, empieza a experimentar dependiendo de la construcción de una serie de fallas en sus elementos

estructurales más importantes: Vigas y Columnas. Así mismo, con el uso se notan después de un tiempo, las fallas de confinamiento y traslapos, que a simple vista son de difícil percepción, pero que pueden llegar a crear graves problemas de estabilidad en la estructura.

3.10.1 Daños dependientes de las Cargas

Falla a Flexión

FIGURA 82. EJEMPLO DE FALLA A FLEXIÓN.



Fuente: Jorge Zambrano López ²³.

Formación de Fisuras perpendiculares al eje en la zona del momento flector máximo.

Falla a Carga Axial (Columna no Esbelta)

Ensanche debido a cargas verticales. El concreto es aplastado con el acero longitudinal doblado hacia fuera.

FIGURA 83. EJEMPLOS DE FALLA A CARGA AXIAL (COLUMNA NO ESBELTA).





Fuente: Jorge Zambrano López ²³.

Falla a Carga Axial (Columna Esbelta)

Pandeo que genera momento de flexión de la columna ²³.

FIGURA 84. EJEMPLO DE FALLA A CARGA AXIAL (COLUMNA ESBELTA).



Fuente: Omar Darío Cardona ².

3.10.2 Falla de Confinamiento

Ensanche debido a cargas horizontales. Agrietamiento y desintegración del concreto. El acero de confinamiento falla y el acero vertical se dobla. Poca capacidad de deformación de la columna (Poca ductilidad).

FIGURA 85. EJEMPLOS DE FALLA DE CONFINAMIENTO.



Fuente: Jorge Zambrano López ²³.

FIGURA 86. FALLO DE NUDOS VIGA - COLUMNA POR FALTA DE REFUERZO TRANSVERSAL.



Fuente: Omar Darío Cardona ².

3.11 PATOLOGIAS POR ACCIONES EXTERNAS

Es imperiosa la necesidad de tener en cuenta en el proceso de construcción de edificios, las patologías por acciones externas, que en un futuro no muy lejano pueden ocasionar graves daños. Hoy en día, se ve más interés de las curadurías por ejercer un estricto control, con el fin por ejemplo, de evitar problemas como el golpeteo, estableciendo las separaciones respectivas.

3.11.1 Polución del Medio Ambiente

Esta contaminación intensa y dañina del aire, compuesta por residuos de procesos industriales o biológicos, en forma de partículas, es transportada

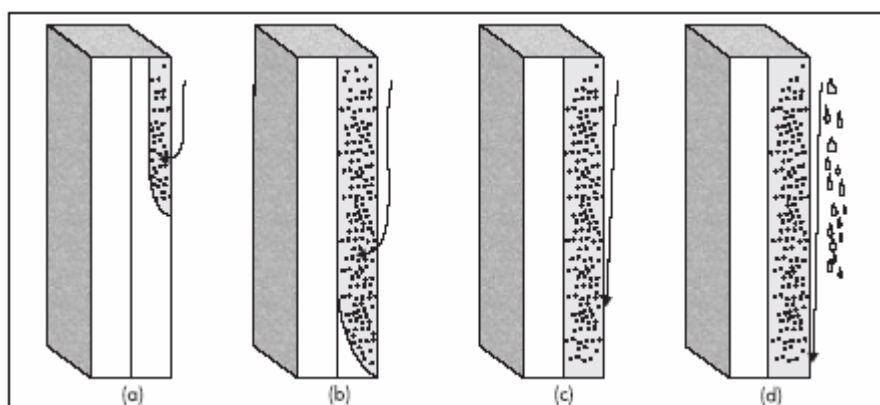
y depositada por el viento sobre las superficies de concreto de las estructuras.

Dependiendo de la velocidad del viento (que aumenta con la altura) y del flujo (laminar o turbulento), la acumulación de polvo sobre las superficies de una estructura varía. Por ejemplo, en una fachada alta, la velocidad del viento puede ser tan grande que no hay lugar a que se formen depósitos de polvo, e inclusive haya mas bien remoción del polvo existente sobre la superficie; en las fachadas intermedias, donde hay turbulencia, la formación de depósitos se acelera; y en las partes bajas, donde hay mayor concentración de polvo, se intensifica la magnitud de los depósitos.

De otra parte, debido a la dirección del viento, cuando llueve se producen ráfagas que inclinan la caída del agua sobre las superficies y generan lavado y limpieza diferencial de las capas de polvo que puedan existir. El escurrimiento del agua, barre la capa de polvo y en algunos casos la redeposita en lugares donde la textura del concreto y la geometría del mismo facilitan la formación de depósitos de polvo.

En la siguiente figura se observa el procedimiento del escurrimiento del agua: Figura (a), se inicia la absorción del agua en los poros superficiales del concreto; Figura (b), se inicia el escurrimiento de agua sobre la porción de la superficie ya saturada; Figura (c), ya se ha saturado totalmente la capa superficial y se inicia el lavado de la superficie; y en la Figura (d), el exceso de agua escurre libremente ⁵.

FIGURA 87. MODELO DE ESCURRIMIENTO Y ABSORCIÓN DE AGUA SOBRE UNA SUPERFICIE VERTICAL DE CONCRETO.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁵.

3.11.2 Cultivos Biológicos

Como consecuencia de la biorreceptividad que ofrece las superficies de concreto (sobre todo si estas tienen textura rugosa), a la proliferación de microorganismos, se afecta el aspecto del concreto no sólo por las manchas y cambios de color; sino también, porque su principal efecto desfavorable es que mantienen húmeda la superficie del concreto, lo cual promueve los mecanismos de deterioro y los mecanismos de daño.

Mecanismos de Deterioro

Entre los mecanismos de deterioro que sufre el concreto, los cuales lo degradan o destruyen, por acción independiente o combinada de los mecanismos de daño por acciones físicas, mecánicas, químicas o biológicas, se encuentran las siguientes:

Meteorización:

Alteración Física, Mecánica o química sufrida por el concreto bajo la acción de la intemperie (sol, viento, lluvia, hielo, u otros). Este fenómeno, desde luego esta muy influenciado por los cambios de temperatura, la humedad y la presión (viento) del medio ambiente; pero también, especialmente por la polución del mismo medio ambiente que es un factor de continuo crecimiento en los centros urbanos.

Decoloración y Manchado:

Acción y efecto de quitar o amortiguar el calor de una superficie de concreto, como consecuencia de la meteorización, la presencia de eflorescencias, los ciclos de asoleamiento, los ciclos de humedecimiento y secado, la acumulación de polvo, el lavado por lluvia y/o el escurrimiento de agua.

FIGURA 88. CONCRETO MANCHADO POR CONTAMINACION DE LA SUPERFICIE.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁵.

Lixiviación:

Descomposición y lavado de los compuestos de la pasta de cemento, como consecuencia de las reacciones químicas que experimenta el concreto por acción de ácidos, aguas blandas, ataque de sales o ataque de sulfatos, o reacciones álcali – agregado.

Usualmente la lixiviación por disolución y transporte de los compuestos hidratados de la pasta de cemento se percibe porque la superficie del concreto ha perdido la pasta superficial y exhibe agregados expuestos; hay eflorescencias de carbonatación, retención de polvo y alto riesgo de favorecer la proliferación de colonias de hongos y bacterias. Además, se observa una reducción del pH del estrato acuoso de los poros superficiales, con riesgo de despasivación de la capa de recubrimiento del acero de refuerzo.

FIGURA 89. ASPECTO DE LA SUPERFICIE DE UN CONCRETO LIXIVIADO.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁵.

Despasivación del Acero de Refuerzo:

El recubrimiento de concreto que se hace sobre el acero de refuerzo de una estructura de concreto es conocido como la capa protectora o “Pasivadora”, que protege al acero de la acción agresiva de ciertas sustancias o elementos que pueden ocasionar deterioro o corrosión del acero de refuerzo. Cuando esta capa pasivadora que debe ser densa, compacta y de espesor suficiente, pierde su capacidad de protección, se dice que se ha Despasivado.

FIGURA 90. CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO POR DESAPAVACIÓN DEL RECUBRIMIENTO.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁵.

La despasivación del recubrimiento del concreto se puede dar por el fenómeno de carbonatación de la capa de recubrimiento, que permite el acceso de agua, oxígeno u otras sustancias que pueden reaccionar con el acero de refuerzo.

La despasivación del recubrimiento del concreto también se puede dar por la penetración de iones cloruro a través de procesos, impregnación o absorción capilar de agua con cloruros, que al acceder al acero de refuerzo fomentan el fenómeno de corrosión del mismo ⁵.

Expansión:

La expansión de la masa de concreto se puede presentar como consecuencia de reacciones que forman nuevos productos que aumentan de volumen, como son: el ataque de sulfatos a la pasta de cemento hidratada y endurecida; o, las reacciones álcali – agregado que se dan entre los compuestos alcalinos del concreto y ciertos agregados reactivos.

3.11.3 Eflorescencias

El término eflorescencia se emplea para describir depósitos que se forman algunas veces sobre la superficie de los concretos, los morteros u otros materiales de construcción. Usualmente, los depósitos eflorescentes están compuestos de sales de calcio (principalmente carbonatos y sulfatos) o de metales alcalinos (sodio y potasio), o de una combinación de ambos. Los depósitos eflorescentes pueden ser clasificados de acuerdo con la solubilidad de las sustancias químicas en el agua.

El carbonato de calcio, que se produce como consecuencia del fenómeno de carbonatación, tiene una solubilidad en el agua extremadamente baja; y por ello, cuando se deposita es probable que tienda a permanecer. Por

lo anterior, la eflorescencia debida al carbonato de calcio insoluble está considerada como el decolorante más serio del concreto.

FIGURA 91. EFLORESCENCIA Y MANCHADO DE UNA SUPERFICIE DE CONCRETO POR CARBONATACION.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁵.

El Sulfato de Calcio, es ligeramente soluble en agua, pero, puesto que reacciona especialmente para formar compuestos insolubles que normalmente permanecen en el concreto, rara vez es un componente principal de los depósitos eflorescentes. Las sales metálicas alcalinas son mucho más solubles que las sales de calcio y constituyen un problema mayor, ya que, o no permanecen durante mucho tiempo o pueden removerse con relativa facilidad.

El riesgo de eflorescencia se reduce por medio del curado en aire húmedo y se incrementa por el curado en aire seco. Varis investigaciones coinciden en que un curado de uno o dos días de 80 a 95 % de humedad relativa y 20 °C de temperatura; son suficientes para dar buena protección contra la formación de eflorescencias. Si se usa menos del 65 % de

humedad relativa, el tiempo de curado necesario deberá hacerse durante varias semanas ⁵.

3.11.4 Golpeteo entre Edificios

Las condiciones propias de cada edificación derivadas de su rigidez mediante los modos de vibración hacen que su comportamiento sea de características propias e individuales. Por tal razón, si no se han tomado medidas apropiadas, las edificaciones se golpearán entre sí pudiendo llegar el caso que la de menor altura hace colapsar a la más alta.

Lo anterior sugiere la necesidad de que cada edificación deba poseer libertad de desplazamiento para disipar la energía de deformación mediante el movimiento que le permite su rigidez. De acuerdo a lo anterior, las edificaciones deben aislarse como medio que garantiza la total independencia de movimiento conformando juntas libres entre las edificaciones.

El golpeteo entre edificaciones adyacentes ha sido la causa de daños importantes y fallas prematuras de edificaciones de varias plantas, en especial cuando estas se encuentran a diferente nivel.

FIGURA 92. EJEMPLOS DE GOLPETEO EN EDIFICIOS.



Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

Cuando el entrepiso tiene la misma elevación, el daño debido al golpeteo por lo general solo es estético. Cuando este no es el caso, existen dos problemas, el primero, cuando el entrepiso de las edificaciones adyacentes están a diferente elevación puede actuar como un demolidor, golpeando las columnas o muros de la otra edificación y el segundo

cuando una de las edificaciones es más grande que la otra, la edificación más pequeña puede actuar como una base para la parte superior de la edificación más grande; la edificación más baja recibe una carga inesperada, mientras la edificación más alta sufre una mayor discontinuidad de rigidez en el tope de la edificación más baja. La deficiencia obviamente es la distancia entre edificios.

Todo movimiento sísmico puede engendrar sorpresas, como en el caso de la unión adyacente de varios edificios. Es conveniente crear amplias juntas en edificios de diferentes alturas para que puedan vibrar de forma distinta durante un movimiento sísmico y evitar así el choque violento entre edificios.

Para evitar este fenómeno, en la ciudad de San Francisco (USA.) que resultó destruida durante el terremoto y posterior incendio en 1906, el actual ordenamiento urbano de la ciudad impide que edificios de diferentes alturas puedan estar juntos y a partir de cierta altura, los edificios deben estar aislados. También existe una anchura mínima de las calles para que estas puedan servir de cortafuegos en caso de incendio.

3.11.5 Separación entre estructuras adyacentes

Como requerimientos de Norma, se establece la necesidad de separar apropiadamente las estructuras de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

Dentro de la misma construcción

Todas las partes de la estructura deben diseñarse y construirse para que actúen como una unidad integral, a menos que se separen una distancia suficiente para evitar la colisión nociva entre las partes. Para determinar la distancia mínima de separación, debe sumarse el valor absoluto de los desplazamientos horizontales para cada una de las porciones de la edificación en la dirección perpendicular de la junta que las espera, a menos que se tomen medidas para que no se presente daño a la estructura al utilizar una distancia menor.

Entre edificaciones vecinas

En ausencia de una reglamentación de la ciudad se pueden utilizar las siguientes guías:

- Cuando ya exista una edificación vecina en la cual se dejó una separación con respecto al lindero, la nueva construcción adyacente debe separarse en cada piso de la existente una distancia igual al desplazamiento total del piso.
- Cuando ya exista una edificación que no dejó una separación con respecto al lindero y no se conocen sus desplazamientos máximos, la nueva construcción adyacente debe separarse de la existente en cada piso una distancia igual al desplazamiento total del piso, más una distancia igual al 1 % de la altura del piso medida desde el nivel del terreno.
- Cuando no se haya construido aún el terreno vecino, y la reglamentación permita construcción sin ningún aislamiento, en aquellos pisos que no se requiera aislamiento, la edificación debe

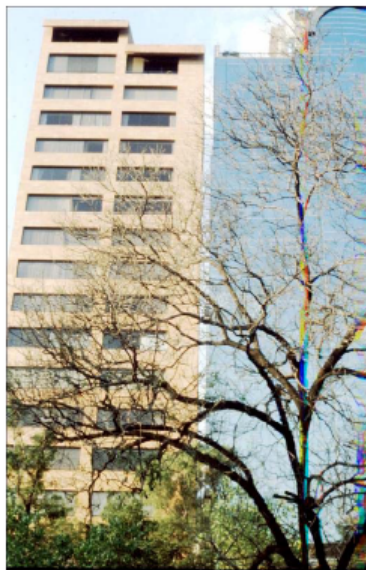
separarse del lindero una distancia igual al desplazamiento total del piso.

FIGURA 93. SEPARACIÓN ENTRE EDIFICIOS DE DIFERENTE ALTURA CON SEPARACIÓN APROPIADA PARA EL LIBRE DESPLAZAMIENTO ENTRE ELLOS.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁵.

FIGURA 94. SEPARACIÓN ENTRE EDIFICIOS DE ALTURA SIMILAR.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁵.

3.11.6 Falta de Mantenimiento

Hay que reconocer que las condiciones de servicio y el envejecimiento y deterioro de los materiales como el concreto, en la realidad, no son totalmente predecibles; y por lo tanto, para mantener la confianza en la integridad estructural, el comportamiento, la funcionalidad, la estabilidad, la durabilidad y la seguridad, es necesario realizar unas inspecciones rutinarias que derivarán en la necesidad de un mantenimiento, reparación, rehabilitación o refuerzo de la estructura.

En la práctica, después de puesta en servicio la estructura, debería iniciarse el mantenimiento de la misma con una inspección preliminar y con base en ello y en las condiciones de operación del proyecto elaborar un “Manual de Mantenimiento”. Este Mantenimiento, al igual que el que se practica a los vehículos puede ser preventivo, correctivo o curativo según el grado de deterioro o de defectos que exhiba la estructura.

El mantenimiento preventivo, contempla los trabajos de reparación necesarios para impedir posibles deterioros o el desarrollo de defectos ya apreciados. La limpieza de los sistemas de drenaje, es tal vez el ejemplo más simple de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento correctivo, hace referencia a la restitución de las condiciones originales de diseño, de manera tal que se restablezcan los materiales, la forma o la apariencia de la estructura. La restauración de estructuras, es un buen ejemplo de mantenimiento correctivo.

El mantenimiento curativo, tiene lugar cuando hay que remplazar porciones o elementos de una estructura, por deterioro o defecto. La demolición y reparación de miembros estructurales, son técnicas empleadas para practicar el mantenimiento curativo ⁵.

FIGURA 95. DEGRADACION DE LA SUPERFICIE DE CONCRETO DE UNA INSTALACION INDUSTRIAL, POR FALTA DE MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁵.

3.11.7 Efecto del Fuego

El fuego es causa importante de patologías sobre estructuras de hormigón. El incendio real es distinto del previsto en la norma ISO. Si el área situada sobre la temperatura de 300 ° es la misma se supone que los incendios son equivalentes.

En el concreto, prácticamente no resulta afectado por temperaturas inferiores a 300^a, a partir de ellos inicia una fuerte pérdida de resistencia, que ya no se recupera tras el incendio, sino que disminuye aún más. Su

bajo coeficiente calorífico hace que tarde mucho en alcanzar los niveles peligrosos.

En el Acero, se sufre una fuerte pérdida de resistencia durante el incendio, ya que alcanza pronto valores altos de temperatura por su alto coeficiente calorífico. Es muy peligroso durante el siniestro, pero tras el mismo recupera casi toda su resistencia. Si resiste el incendio, en general será aprovechable tras el mismo.

Como consecuencia de la presencia de un sismo se pueden romper las conducciones de gas; una chispa puede desencadenar un incendio que arrase un edificio o incluso uno barrio. La falta de suministro de agua y el colapso de los servicios de emergencia (bomberos, protección civil,...) puede además impedir que se pueda apagar este incendio.

4 PATOLOGÍAS MÁS COMUNES EN COLOMBIA

Después de hacer un análisis de los daños encontrados en Colombia en los últimos años, en distintas zonas, se puede decir que los principales problemas que se presentan son: Patologías por Corrosión, Patologías por elementos no estructurales, Patologías por Mecanismos de Descomposición, Patologías por Configuración Geométrica y Estructural, Patologías por Fisuración, Patologías por golpeteo entre edificios.

FIGURA 96. ARMENIA, DESPUÉS DEL SISMO DEL 25 DE ENERO DE 1999, SE ILUSTRAN UN ESCENARIO DE RIESGO MATERIALIZADO EN DESASTRE DEBIDO A LA VULNERABILIDAD DE SUS EDIFICIOS QUE NO SE CONSTRUYERON CON NORMAS SÍSMICAS.



Fuente: Omar Darío Cardona ².

4.1 DAÑOS MÁS COMUNES EN BUCARAMANGA

Los barrios Morrorríco, Miraflores y Buenos Aires, se caracterizan por estar cimentados en laderas de pendientes medias a fuertes.

Los habitantes del sector optan por dos métodos principales para la cimentación de sus viviendas: El Terraceo, que consiste en realizar cortes y rellenos al talud, para lograr terrenos planos o terrazas en los cuales cimentar la estructura. La dificultad al emplear este método es la falta de maquinaria de excavación en pendientes tan fuertes, o inaccesibilidad debido a la falta de vías de acceso; en general las construcciones que emplean este método lo hacen con excavación manual. El otro método consiste en disponer elementos verticales que intercepten la base del talud, dando como resultado elementos muy esbeltos.

- Además de ignorar las condiciones del sitio, las edificaciones no se han construido contando con un diseño previo, ni obedeciendo a un reglamento o normativa sismorresistente.
- Las edificaciones en su mayoría presentan irregularidad en altura debiéndose a las condiciones impuestas por construir en ladera.
- La construcción de las edificaciones es realizada por mano de obra no calificada, siendo una de las mayores razones por la cual las estructuras no cumplen los requerimientos mínimos.

En los barrios localizados al Norte de la Ciudad de Bucaramanga, las construcciones también están construidas en ladera.

Las edificaciones ubicadas en las laderas más inclinadas, correspondiendo a la parte oriental de la zona, han sido construidas por maestros de obra los cuales se han preocupado por proporcionarle a la edificación un soporte en el terreno pero sin obedecer a un sistema

estructural adecuado. Como consecuencia, muchas de las edificaciones presentan el efecto de piso débil.

Otro problema que se presenta es la falta de continuidad en el sistema transmisor de carga, ya que en buena parte de las edificaciones el diafragma sencillamente descansa sobre el sistema de vigas. Sin llegar a ofrecer una integridad a la placa, vigas y columnas.

Se aprecia igualmente la falta de continuidad en el sistema transmisor de cargas, producido por la falta de continuidad de las columnas que parten de la cimentación y van a los pisos superiores.

En los barrios ubicados en la parte Oriental de Bucaramanga, a pesar de estar contruidos siguiendo una normativa y bajo la dirección de un ingeniero, la zona esta afectada por su cercanía al trazado del sistema de falla, y por algunos movimientos del terreno, los cuales han evidenciado en el pasado fallas en algunas edificaciones que hoy en día están abandonadas.

En los barrios ubicados al occidente de la ciudad, o zona de escarpe, las edificaciones están contruidas en laderas con pendientes entre empinada a moderadamente empinada con pendientes entre el 2% y el 34%.

Otros problemas son las deficiencias de un sistema estructural adecuado para las edificaciones de vivienda. También se ven afectados por deslizamientos cerca de asentamientos urbanos, los cuales generan grandes problemas de estabilidad.

Algunos barrios como Lagos del Cacique, Portón del Tejar, Santa Bárbara, etc. En su mayoría las edificaciones de esta zona han sido construidas siguiendo las normas sismorresistentes, contando con materiales y requerimientos constructivos de óptima y excelente calidad. Sin embargo su cercanía a la Falla Bucaramanga-Santa Marta, lo hace presentar estados de daño considerables. La zona ha sido afectada por deslizamientos sobre las vías ²⁶.

5 ANALISIS DE LAS NORMATIVIDADES EXISTENTES

En la actualidad se ha buscado la unificación de criterios en cuanto a normas existentes, para ello se ha creado una Normalización, o gran movimiento internacional de uniformización de criterios básicos de proyectos y construcción, cuyos ejemplos notorios son:

- ACHE: Es el resultado de la fusión de GEHO (Organización encargada del estudio de todas las cuestiones que afectan al concreto, tanto desde el punto de vista de la investigación y estudio técnico – experimental, como el de la normativa o la transformación práctica de los conocimientos para su difusión y aplicación entre los proyectistas) y ATEP (Asociación Técnica Española del Pretensado).
- AENOR: Asociación Española de Normalización.
- CEB: Comité Euro-International du Béton (Comité Euro-internacional del Concreto).
- CEN: Comité Europeo Internacional de Normalización.
- CIB: Consejo Internacional para la Investigación e Innovación de la Edificación y Construcción.
- COST – 509: Corrosión y Protección de Metales en Contacto con el Concreto.
- ENV: Norma Europea Experimental.
- FIB: Federación Internacional del Concreto, fruto de la fusión CEB - FIP.
- FIP: Federación Internacional del Pretensado.
- ISO: La ISO (International Standardization Organization) es la entidad internacional encargada de favorecer la normalización en el mundo.

- RILEM: Unión Internacional de Pruebas e Investigación en Laboratorios para Materiales y Estructuras.
- SHRP S – 360: Protección, Reparación y Rehabilitación de Puentes en Concreto con respecto al refuerzo sometido a la Corrosión.

Objetivo de la Normativa

Establecer los requisitos mínimos de seguridad con el fin de salvaguardar la vida y además garantizar que la edificación sea capaz de cumplir durante su vida útil, una serie de criterios de desempeño preestablecidos.

5.1 NORMAS EUROPEAS

El desarrollo de Normas dentro de la Comunidad Europea esta a cargo de CEN - Comité Europeo de Normalización. CEN, a través del Comité Técnico 250 (CEN / TC 250) trabaja en el desarrollo de los Eurocódigos.

Programa de los Eurocódigos:

1. Bases de diseño y acciones sobre las estructuras.
2. Estructuras de concreto
3. Estructuras de acero
4. Estructuras compuestas de acero-concreto
5. Estructuras de madera
6. Estructuras de mampostería
7. Diseño Geotécnico
8. Diseño Sismo Resistente
9. Estructuras de Aluminio

➤ **87 (1987 ZTV-SIB)**

Ministerio Federal del Transporte de Alemania (BMV): Condiciones Contractuales Técnicas Adicionales para la Protección y Reparación de Elementos de Concreto. Esta norma lo que hace referencia es a la clasificación de las áreas en transitables o no transitables, dependiendo de si hay o no sollicitación dinámica. Trae consigo también una serie de ejemplos de cada clase PCC I, PCC II, PCC III, para hacer así más clara y real dicha clasificación.

➤ **Reglamento DAfStb: SIB (1990, Mayo 2001).**

Comité Alemán para el Concreto Reforzado (DAfStb): Protección y Reparación de Elementos de Concreto. Básicamente lo que contiene esta norma es un reglamento para la aplicación en Reparaciones de Estructuras en Concreto. Pasando por un proceso donde se encuentran las siguientes etapas:

Parte 1. Reglas Generales y Bases de Planeación.

- Campos de Aplicación.
- Objetivos para medidas de Protección y Reparación.
- Medidas de Protección y Reparación.

Parte 2. Productos de Construcción y Usos.

- Concreto/Mortero base Cementosa.
- Concreto/Mortero base resinas reactivas.
- Otros materiales componentes del sistema.
- Diferenciación de los Materiales – Reemplazo del Concreto.
- Clase de Capacidad de Carga M3, CC, PCC (Base Cementosa).

Parte 3. Exigencias de las Empresas y Supervisión de la Ejecución.

Parte 4. Métodos de Ensayo para los Materiales.

➤ **Estándar Europeo: pr EN 1504 (proyecto de norma)**

“Productos y sistemas para la protección y reparación de Estructuras de Concreto“. Aunque no es norma, es un proyecto que se espera en muy poco tiempo convertirse en el reglamento oficial de los diferentes Principios y Métodos por Daños en el Concreto.

Productos y Sistemas para Protección y Reparación de Estructuras de Concreto:

Parte 1. Definiciones.

Parte 2. Sistema de protección de superficies.

Parte 3. Morteros de reparación estructural y no estructural.

Parte 4. Pega Estructural.

Parte 5. Inyección de concreto.

Parte 6. Relleno para anclar refuerzo o para relleno de cavidades.

Parte 7. Protección a la corrosión del refuerzo.

Parte 8. Control de calidad y evaluación de conformidad.

Parte 9. Principios generales para el uso de productos y sistemas.

Parte 10. Aplicación en sitio y control de calidad de los trabajos.

Principios y Métodos por Corrosión del Acero:

- RP: Preservación o restauración de la pasividad
- IR: Incremento de la resistividad
- CC: Control catódico

- CP: Protección catódica
- CA: Control de áreas anódica.

Estos métodos, analizan características del concreto muy representativas: Fuerza de Compresión, Contenido de Ion-Cloro, Adherencia entre superficies, Expansión y Contracción del Concreto, Resistencia a la Carbonatación, Módulos de Elasticidad, Compatibilidad Térmica, Resistencia al deslizamiento, Coeficiente de Expansión Termal, Absorción Capilar, entre otros. Con el fin de relacionarlas y buscar el mejor método de reparación según la necesidades requeridas.

5.2 NORMAS NORTEAMERICANAS

Son varias las organizaciones dedicadas al estudio de la patología estructural en Estados Unidos, pero básicamente la organización que tiene bajo su mando la redacción de normas e informes técnicos es el ACI – American Concrete Institute - , junto con el ASTM, que es el organismo encargado de realizar las pruebas a los materiales, y cuyo concepto es de vital importancia en el desarrollo de las pruebas a los componentes del concreto en toda América ²⁷.

Evaluación de las estructuras de concreto reforzado (Diagnostico).

5.2.1 ACI - Manual Práctico del Concreto

ACI 201.1R: Guía para la ejecución de una observación de la condición del concreto en servicio.

ACI 364.1 R-94. (Reaprobada en 1999). Guía para la Evaluación de Estructuras en Concreto antes de una Rehabilitación. American Concrete Institute – ACI. 1999.

ACI 546R-96: (Re-aprobado 2001), Guía de reparación de Concreto. Divulgado por el comité 546 de ACI. Entre los temas más importantes que contiene son: Técnicas para el retiro, preparación y reparación del Concreto; Materiales de Reparación, Sistemas Protectores, Técnicas de Consolidación, etc.

ACI 440.2R-02: Guía para el diseño y construcción de sistemas externos garantizados, a través del Reforzamiento con Fibras de Polímero – FRP - para el fortalecimiento de estructuras en concreto. Divulgado por el comité 440 de ACI.

ACI 437R: Evaluación de la resistencia de edificios de concreto existentes.

ACI 228.1R: Métodos in-situ para estimar la resistencia del concreto.

ACI 228.2R: Métodos de ensayo no destructivos para el concreto.

ACI 116R: Terminología en cemento y concreto.

5.2.2 Manual de Prácticas al Concreto según el ASTM

ASTM E - 1512: Ensayos de desempeño de anclajes químicos.

ASTM E - 488: Ensayos para resistencia de anclajes.

ASTM C – 876 – 91: Ensayo de Corrosión usando el equipo de media celda.

5.2.3 Normas FEMAS 273, 274, 302 A, 303 A

Estas normas introducen inicialmente el concepto de niveles de funcionamiento, con el fin de describir los daños estructurales y no estructurales que se puedan presentar en la edificación.

Se proponen dos métodos de rehabilitación:

La rehabilitación simplificada de la rehabilitación emplea los procedimientos estáticos equivalentes del análisis de la fuerza, que se encuentran en la mayoría de los códigos sísmicos para los nuevos edificios.

La rehabilitación sistemática se puede aplicar a cualquier construcción e implica la comprobación completa de cada elemento o componente estructural existente, del diseño de uno nuevo, y de la verificación de la interacción total aceptable para saber si hay desplazamientos aceptables y fuerzas internas.

Aunque lo reseñamos en este punto, esta norma ofrece poca ayuda para este proyecto, debido a que esta enfocada casi totalmente a la Rehabilitación de estructuras, solo nos serviría los capítulos dedicados y a establecer las condiciones iniciales para la evaluación de daños, y a demás debido a sus métodos complejos, poco aplicables en nuestro medio, hacen que muchos de sus usos se restrinjan solo a los Estados Unidos.

5.2.4 Códigos usados en Estados Unidos

Han existido diferentes códigos generales:

- Uniform Building Code (UBC)
- National Building Code (NBC)
- Standard Building Code (SBC)

En los Estados Unidos se han presentado una serie de situaciones que vale la pena reseñar, debido a la influencia que tienen los códigos de ese país sobre las normas nuestras. En 1994, las tres entidades encargadas de desarrollar los códigos modelo, el ICBO que producía el Uniform Building Code - UBC - , el BOCA que producía el National Building Code - NBC - y la SBCCI que producía el Standard Building Code - SBC - decidieron constituir el Internacional Code Council - ICC y publicar una sola familia de códigos modelo: El International Building Code - IBC y su primera edición en el año 2000. Sin embargo, la National FIRE Protection Association, NFPA, decidió producir su propio código y publicar su primera edición en 2002.

En consecuencia, el nuevo proceso que posiblemente se presente incluye roles claves:

- El Building Seismic Safety Council - BSSC - se concentrará en el desarrollo de las recomendaciones NEHRP, sucesoras del ATC - 3 - 06, apoyadas por la FEMA.
- La ASCE tendrá la responsabilidad de desarrollar un estándar sísmico a través de su Seismic Task Comité - STC - y ASCE - 7, que adopta con cambios menores el ACI - 318 para el concreto y el código del AISC para Metálicas y que a su vez podría ser adoptado por el IBC y el código de la NFPA.

- El National Council of Structural Engineers Associations – NCSEA, que también tiene representación en el ASCE – 7 STC, facilitará seguramente el aporte de SEAOC, que produce el Blue Book y de otras asociaciones de ingenieros estructurales.

El código de la NFPA de 2002 seguramente incluirá cambios, referenciando el ASCE-7-02 y el IBC 2006 incluirá cambios que referenciarán el ASCE-7-05.

- Materiales Estructurales:
 - Concreto (ACI)
 - Acero (AISC)
 - Mampostería (ACI – ASCE - TMS)

- Normas de Fabricación (ASTM)

5.2.5 El Nuevo Código ACI 318 – 02

Sin duda el American Concrete Institute, ACI, es la organización profesional más prestigiosa del mundo en el campo del concreto, razón por la cual sus publicaciones, normas y eventos son referencia obligada en universidades, laboratorios, organismos encargados de normas técnicas, compañías consultoras y constructoras en todos los países.

El código del ACI (ACI 318-77) fue la base del Título C de la Norma Sismo Resistente Colombiana de 1984. Posteriormente, para la NSR-98 se empleo el Código ACI 318-95 para la actualización del mismo Título C.

Es importante destacar los avances que se hacen en esta norma, respecto a los estudios necesarios para evaluar las condiciones de las construcciones existentes y la documentación requerida al hacer una evaluación de daños de una edificación.

Anteriormente las Ediciones del ACI 318 se publicaban cada 6 años, aproximadamente (ACI 318-77, ACI 318-83, ACI 318-89, ACI 318-95, ACI 318-99, ACI 318-02) En adelante habrá una edición cada 3 años, pero el Comité 318 será cambiado cada 6 años ²⁷.

5.2.6 Modificaciones más importantes del ACI 318-99 y 318-02

- Se incluyen nuevas definiciones para elementos preesforzados. Las nuevas definiciones son: elemento de anclaje (para postensado), zona de anclaje, elemento de anclaje monotorón, elemento de anclaje multitorón, elemento de anclaje especial, y tendón no adherido.
- El recubrimiento de concreto para preesforzado se cambió (Sección 7.7.2), distinguiéndose ahora entre concreto preesforzado vaciado en el sitio y concreto preesforzado construido en planta. Hay un nuevo requisito (Sección 7.10.5.6) que obliga a poner estribos alrededor de anclajes a columnas en su parte superior.
- En las NSR-98 los factores de carga y las ecuaciones de combinación de carga están en el Título B. Este cambio consistiría,

dentro de las NSR-98, en intercambiar las secciones B.2.4 por la B.2.5, dado que en las NSR-98 ya se había permitido el uso de los factores de carga de la ASCE-7. Los nuevos factores de carga dentro de ACI 318-02 son menores que los empleados tradicionalmente por el documento ACI 318.

- Hay una modificación muy importante consistente en cambiar toda la teoría de diseño a flexión a la “Teoría Unificada”. Este cambio se veía venir desde hace algún tiempo y esta es la razón por la cual se incluyó en la NSR-98 como procedimiento alternativo en el Apéndice C-B. Este cambio lleva al diseño a flexión por medio del control de la deformación unitaria en el centróide del refuerzo a tensión, lo cual en la actualidad se hace en las NSR-98 por medio del control de la cuantía exigiendo que ésta sea menor del 75 % de la cuantía balanceada. La gran ventaja de este cambio es que permite un manejo único o unificado para concreto reforzado y preesforzado, de ahí su nombre.

- Se aclara el diseño a cortante de secciones circulares, se modifican algunos de los requisitos para diseño a torsión, pero tal vez el cambio más importante es que se permite el empleo de procedimientos de diseño por medio de la teoría de biela y tirante (strut-and-tie). Esta es la aceptación, dentro del ámbito del ACI, de procedimientos que antiguamente sólo se usaban en la interpretación de ensayos experimentales y que desde hace muchos años se utilizaban en el medio europeo.

- Hay algunos cambios más de orden cosmético en las ecuaciones de longitudes de desarrollo, pero se dan algunos requisitos nuevos importantes para la colocación de ganchos, con exigencias especiales que requieren la presencia de refuerzo transversal y

afectan las dimensiones del gancho en sí. Así mismo, hay cambios en la ecuación de desarrollo para torones de preesforzado.

- Las definiciones fueron actualizadas y modificadas. Hay nuevos requisitos para empalmes mecánicos y soldados del refuerzo. Para disipación de energía especial (DES) ahora se permite que el espaciamiento de los estribos de confinamiento de columnas varíe entre 100 y 150 mm dependiendo de la distancia entre las ramas transversales.
- En las secciones de muros estructurales especiales y vigas de acople se introduce un nuevo procedimiento de diseño para elementos de borde en muros estructurales basado en diseño sísmico por desplazamiento.
- En los requisitos para el diseño de pórticos de capacidad de disipación moderada (DMO) hay modificaciones importantes en el punzonamiento admisible de sistemas losa-columna.

En este momento los requisitos de Concreto Estructural contenidos en el Título C de la NSR-98 están desactualizados con respecto a las versiones del Código ACI 318 aparecidas en 1999 y recientemente en el 2002 ²⁷.

5.3 ACTUALIZACION DE LAS NORMAS COLOMBIANAS

5.3.1 Diseño basado en el comportamiento

Este proceso de cambios en los Estados Unidos ha sido visto con cautela por parte de la AIS – Asociación de Ingeniería Sísmica - , que ha

desarrollado las bases conceptuales y técnicas que han servido de base para la normativa oficial de Colombia.

En los últimos años ha surgido un enfoque de diseño que se ha denominado Diseño Basado en el Comportamiento (o basado en el desempeño, como lo traducen los mexicanos), como una solución a los daños que se presentan cada vez con más frecuencia y como metodología que, además de cubrir el requisito de protección de la vida, también permite controlar discrecionalmente, según la importancia del edificio, el daño y su funcionalidad.

Usualmente se consideran cuatro niveles de excedencia de movimientos del suelo: frecuentes, ocasionales, raros y muy raros (75, 225, 500 y 2500 años de período de retorno) y cuatro estados límites de comportamiento (operación continua, ocupación inmediata, protección a la vida y prevención del colapso). Los documentos FEMA 273 y 274, el ATC 40 y el IBC 2000 utilizan este enfoque que, posiblemente por su heurística, parece ser más sólido que el empleado hasta ahora, pero que en realidad solo es otro nombre para denominar lo mismo que se ha venido haciendo (aparte de que el diseño siempre ha sido, obviamente, basado en el comportamiento).

En Colombia las Normas NSR-98 se pueden modificar en cualquier momento mediante decretos reglamentarios y, de ser necesario un cambio en algún aspecto relevante, no hay necesidad de esperar hasta que haya una actualización masiva. Sin embargo, para evitar inconsistencias, un cambio más generalizado que incluya de una vez diversos aspectos en diferentes tópicos también es factible y en ocasiones deseable. Ahora bien, un cambio masivo exige un trabajo

intenso y una gran coordinación de grupos técnicos. Por esta razón, la AIS ya ha venido recogiendo y analizando aspectos que pueden ser objeto de actualización, con el fin de desarrollar en su interior una nueva versión completa de su Norma-AIS-100. Este documento ha sido en el pasado la base tanto para el código de 1984 como de las actuales Normas NSR – 98, dado que se le ha reconocido como un documento bien soportado, desarrollado por especialistas y, sobre todo, con alto grado de consenso, dada la participación de otras personas que incluso no son miembros del AIS. Esto no significa necesariamente que una actualización generalizada de las NSR – 98 tenga que estar basada en la Norma AIS – 100, puesto esto debe decidirlo como cuerpo consultivo del Estado la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo - Resistentes ²⁸.

5.3.2 Normas Colombianas publicadas recientemente.

- Ley 400 (19 agosto 1997).
- Reglamento NSR-98 (Decreto 33, 9 enero, 1998).
- Actualización (Decreto 34 del 8 de Enero de 1999).
 - Empleo del Coeficiente de Disipación de Energía, R. Capítulo A.2.9.4.
 - Sistemas Estructurales de Pórticos. Tabla A.3-3.
 - Irregularidades en la altura. Tabla A.3-7.
 - Efectos P-Delta. Capítulo A.6.2.4.
 - Límites de la Deriva. Capítulo A.6.4.
 - Definición de Desempeño. Capítulo A.9.2.1.
 - Espectro del Umbral de Daño. Capítulo A.12.3.
 - Dimensiones Mínimas de las Columnas. Capítulo C.10.8.4.
 - Vigas de Apoyo. Capítulo C.13.9.10.

- Fuerzas de diseño. Capítulo C.15.13.1.
- Módulos de Elasticidad. Capítulo D.5.2.1.
- Miembros Fabricados. Capítulo F.4.4.3.
- Profundidad de los Sondeos. Capítulo H.3.2.4.
- Factores de Seguridad a la Falla. Capítulo H.4.1.7.
- Actualización (Decreto 2809 del 29 de Diciembre de 2000).
 - Reforzamiento y Rehabilitación Sísmica. Capítulo A.10 .7.
 - Reparación de Edificaciones con Posterioridad a un Sismo. Capítulo A.10.9 De los Estudios de Microzonificación Sísmica.
- Actualización (Decreto 52 del 18 de Enero de 2002).
 - Casas de uno y dos Pisos en Bahareque Encementado. Capítulo E.7.
 - Definiciones. Capítulo E.8.
 - Verificación de la Resistencia de Muros. Apéndice E – A.
 - Ilustración de Uniones. Apéndice E – B.

5.3.3 Cambios en las normas del concreto

A raíz de la expedición del Código ACI - 318 de 2002, que sufrió cambios relativamente notables respecto a las ediciones anteriores, se tienen ya identificados los cambios que tendrían especial relevancia para el Título C de las normas. Afortunadamente para el país, el director del Subcomité D del ACI - 318, Flexión y Carga Axial, es un ingeniero Colombiano, miembro y presidente honorario de la AIS (Luis Enrique García Reyes). Por esta circunstancia, la Norma AIS-100.97 y por lo tanto las Normas NSR-98 alcanzaron a incluir algunos cambios que aparecieron en el ACI - 318 - 99, aunque con cautela no todos, pues algunos estaban aún en discusión en ese momento.

En el ACI – 318 - 02 aparecieron también cambios en los que Colombia se había adelantado y un aporte de otro colombiano, miembro de la AIS a distancia, que sobre el tema realizó en Canadá su tesis doctoral (Carlos Emilio Ospina). Por otra parte, cambios como el refuerzo en los elementos de borde de los muros estructurales tendrán seguramente especial repercusión. También la modificación de los factores de seguridad será un tema de especial atención, debido a la posibilidad de que se cometan errores del lado de la inseguridad al utilizar programas de computador de análisis y diseño estructural cerrados.

Es necesario, también, destacar aquí la reciente aprobación del ACI - 318 del documento Essential Requirements for Reinforce Concrete Buildings, que será publicado como el primero de la Serie IP. International Publications, en conjunto con la AIS y el ICONTEC. Este hecho es un hito en la historia de la ingeniería Colombiana y se debe al esfuerzo de un grupo de profesionales del Subcomité C de la Norma AIS -100 y en particular de quien nos representa honrosamente en el Comité ACI - 318. La AIS ya cuenta con una versión de este documento en español y será la encargada con el ICONTEC, de promoverlo en América Latina. Por ser una norma simplificada, que ya en los Estados Unidos se considera debe ser el objetivo de los códigos en el futuro, este aporte colombiano seguramente llegará a ser parte no sólo de nuestra norma sino de otros países ²⁸.

5.3.4 Situación Actual

A raíz de los desastres causados en edificaciones, que cada vez son más frecuentes, ha sido necesario desarrollar métodos para evaluar el daño de

las edificaciones que han sido afectadas, con el fin de determinar en forma rápida si son seguras o deben ser evacuadas para proteger la vida de sus ocupantes y evitar que el número de víctimas sea mayor en el caso. Se ha demostrado que no sólo es importante el estudio de vulnerabilidad de las edificaciones, si no que también es útil tener métodos para la evaluación de los daños.

Los procedimientos para la evaluación normalmente se aplican por medio de dos niveles o etapas de desarrollo: la evaluación rápida (o de Habitabilidad) que se basa en el nivel de riesgo o peligro que representa una edificación para la población, y la evaluación detallada, que describe el nivel de daño estructural y su clasificación.

Las evaluaciones detalladas de daño no sólo sirven para caracterizar los daños estructurales y no estructurales en las edificaciones, también permiten evaluar los efectos locales de los suelos, estimar de manera aproximada el impacto económico y social, y generar información para la toma de decisiones por parte de las autoridades, para la formulación posterior de proyectos para la reconstrucción y la definición de estrategias que permitan a largo plazo reducir los efectos de futuros eventos sísmicos. Permiten, hacer mejoras a las normas sismorresistentes vigentes, identificando las fallas en los sistemas estructurales y también posibilitan la construcción de curvas de vulnerabilidad empírica, útiles también para el estudio de las edificaciones.

Se han desarrollado en los últimos años investigaciones sobre el tema de evaluación de daños, sobre diferentes metodologías existentes a nivel mundial, dentro de los que se destacan: Macedonia (antigua Yugoslavia), Estados Unidos, Japón, México, Italia, Turquía, Grecia y en Colombia,

después de los sismos del 8 de Febrero de 1995 y el 25 de enero de 1999 en el Eje Cafetero, en los cuales tuvieron especial inherencia Enrique Castrillón, Armando Ramírez y Ana Campos; incluso internacionales como la de Yugoslavia “University Kiril and Metodij” en el cual participó Omar D. Cardona; la del Sistema de Protección Civil de México y en la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal de la Ciudad de México, basados en el trabajo de Enrique Castrillón ²⁸.

6 METODOLOGIAS DE EVALUACION EXISTENTES EN PATOLOGIA ESTRUCTURAL

Los principales elementos para una metodología de evaluación de daños son: la clasificación de los daños, la definición de las posibilidades de uso de las edificaciones que sufrieron daños, la organización para la recolección de los datos y el análisis y procesamiento de la información.

Este tipo de evaluaciones difieren de las evaluaciones de vulnerabilidad, en que las inspecciones deben desarrollarse tan rápido como sea posible con el fin de reducir el riesgo y la incomodidad de la personas, por lo tanto es imposible realizar una evaluación haciendo un levantamiento geométrico completo de la edificación, tomando muestras para análisis de patología y realizar un análisis numérico detallado mediante modelos en el computador. Por lo tanto, las evaluaciones de habitabilidad y de daños deben ser hechas basándose en la inspección visual y el criterio experto.

Otro punto importante, es que si el número de inspecciones a realizar es muy grande, se necesitan muchos evaluadores trabajando simultáneamente y por lo tanto, se debe recurrir a profesionales no expertos en el tema. Adicionalmente, por el volumen y agilidad que se requiere en la entrega de recomendaciones, el manejo y administración de la información debe ser eficiente y por ende, sistematizado ²⁹.

6.1 Metodologías Internacionales

La recopilación bibliográfica sobre las metodologías existentes a nivel mundial, dentro de las que se destacan Macedonia (antigua Yugoslavia), Estados Unidos, Japón, México, Italia, Turquía y Grecia, permite analizarlas comparativamente teniendo en cuenta diferentes aspectos como: Sus objetivos y alcances, criterios para la descripción y localización de las edificaciones, criterios para la evaluación y clasificación de los daños, tipos de recomendaciones y medidas de seguridad propuestas, entre otros.

Las metodologías de evaluación en general son relativamente recientes, en casi todos los países han sido sometidas a muchas revisiones debido al incremento de conocimientos con respecto al tema. Los procesos realizados en los diferentes países no han sido independientes, sino por el contrario las experiencias de unos han servido de base para los trabajos posteriores. Los primeros trabajos realizados en Japón y California, fueron la base para los trabajos del ATC-20 en Estados Unidos. Los métodos de Yugoslavia (IZZIS, 1985) y Japón fueron utilizados en México en la evaluación de los daños de 1985 y sirvieron para las versiones posteriores del ATC-20 (1995 y 1998) junto con las observaciones en California.

Los procedimientos de evaluación de daños en algunos casos como los de México, Estados Unidos y Japón, se aplican por medio de diferentes niveles o etapas de desarrollo, las cuales se han clasificado en evaluaciones rápidas, evaluaciones detalladas o estructurales y evaluaciones de ingeniería. La evaluación rápida o de habitabilidad de las edificaciones se utiliza comúnmente para definir la posible ocupación y utilización del edificio a corto plazo. Después de la evaluación, los

edificios pueden ser usados de manera segura y adicionalmente se generan unas recomendaciones con el fin de reducir el riesgo de los habitantes ³⁰.

Las metodologías detalladas o evaluaciones que describen el nivel de daño estructural y su clasificación pueden ser realizadas por muchos motivos, en general se hace con el objetivo de revisar la seguridad de aquellas edificaciones sobre las cuales se tiene alguna duda por los cortos alcances de la evaluación rápida y la poca experiencia de sus evaluadores (ATC-20, 1989 y SMIS et al, 1996). Mientras que en Japón, la segunda evaluación se hace con el fin de definir el uso a largo plazo de las edificaciones, por lo tanto el resultado de la evaluación es una sugerencia al propietario de que repare, refuerce o demuela su edificación.

Los métodos europeos (Macedonia, Italia, Grecia) sólo hacen una evaluación detallada cuyo propósito es determinar la habitabilidad, hacer las recomendaciones sobre las medidas de seguridad, estimar globalmente las pérdidas económicas directas y calcular funciones de vulnerabilidad de edificaciones, ya que la decisión del uso a largo plazo de la edificación se hace mediante una evaluación de ingeniería contratada independientemente por los propietarios, al igual que la evaluación de tercer nivel en Estados Unidos y México.

Los primeros trabajos realizados en Japón y California, sirvieron como base para los trabajos del ATC – 20 y de los Informes del ACI 364.1r_94, 440.2R-02, 546r_96, en Estados Unidos. Los trabajos de Yugoslavia y Japón fueron utilizados en México en la evaluación de los daños del sismo de 1985 y sirvieron como base junto con el ATC – 20 para las

diferentes versiones realizadas posteriormente en 1995 y 1998. Con base en todos los trabajos anteriores se han desarrollado los métodos del Eje Cafetero en Colombia ³⁰.

6.1.1 Método Yugoslavo

El Instituto de Ingeniería Sísmica y Sismología – IZIIZ – de la Universidad “Kiril y Metodij”, desarrolló una metodología en 1984 para la evaluación de daños en edificaciones, la cual fue elaborada inicialmente por Zoran Milutinovic y J. Petrovski y traducida al español y actualizada por Omar Darío Cardona y Angel D. Sorria, algunos de sus objetivos fundamentales son los siguientes:

- Disminución del número de víctimas y heridos que viven en edificaciones de baja resistencia o que han sido destruidas parcialmente por las patologías que se han presentado en su vida útil, basándose en las características de la vivienda.
- Obtención de datos sobre la magnitud de la catástrofe, que se pudiera presentar en términos de viviendas utilizables, edificios destruidos o con peligro de colapso y edificios utilizables para acomodar la población.
- Creación de una base de datos para la predicción de futuras consecuencias en caso de terremotos en zonas sísmicas.
- Proveer datos para la planificación y organización de sistemas de protección civil y salvamento.
- Mejoramiento de las especificaciones en los códigos de construcción y diseño ³¹.

6.1.2 Método del ATC – 20

En el método propuesto por Applied Technology Council (ATC-20), el proceso de evaluación tiene 3 etapas o procedimientos. El primero corresponde a una evaluación rápida en la cual se decide cuáles edificaciones son aparentemente seguras y cuáles son obviamente inseguras. El segundo corresponde a la evaluación detallada, en la cual a las edificaciones aparentemente seguras se les hace un examen visual más detallado por un ingeniero estructural.

El método se ha desarrollado en California desde 1978 con algunos procedimientos realizados por la Oficina de Servicios de Emergencia – CES que fueron posteriormente consolidados por Applied Technology Council, bajo el documento “Procedures for evaluation of buildings” conocido como ATC-20 y publicado en 1989. Posteriormente en 1996, se realizó una segunda versión denominada “Addendum to the ATC-20 Building Evaluation Procedures” y conocida como el ATC-40 ³².

Como resultado de la evaluación detallada se decide si las estructuras son seguras, potencialmente peligrosas o inseguras. Después de esta evaluación, cualquier evaluación más debe ser hecha por un ingeniero estructural con un estudio de vulnerabilidad más cuidadoso y especializado.

La evaluación de ingeniería es más compleja y especializada. De acuerdo con los daños encontrados se recomiendan las reparaciones necesarias para que la edificación pueda tener una ocupación normal. Es posible también que como resultado de esta evaluación se recomiende su demolición. Esta debe ser realizada por un ingeniero consultor ³³.

6.1.3 Método Japonés

La experiencia de evaluación de daños en el Japón data desde 1978. En esa ocasión se vio la importancia de tener una metodología apropiada para la inspección de edificaciones, y evitar así las pérdidas humanas y económicas.

Un programa de investigación se inició en 1981 llevando a la publicación en 1985 de las “Guías para inspección de daños y técnicas de restauración”. La metodología fue revisada en 1989 y publicada por la Asociación Japonesa para la prevención de desastres en edificios. La evaluación consiste en dos procedimientos a seguir: Una evaluación inmediata del nivel de riesgo o habitabilidad y una evaluación del nivel de daño estructural y su clasificación. En el primero se define si la estructura dañada o una parte de ella representa peligro para la vida humana, ya sea por vuelco, falla o desplome. En el segundo, los resultados de la inspección se basan en las características de los daños que exhiba el edificio.

El método de evaluación presenta dos etapas: En la primera, se determina el nivel de daño para cada concepto a investigar, en la que a cada uno de los puntos considerados por inspeccionarse se le asocia un nivel de daño (A, B o C). En la segunda, se obtiene el nivel de riesgo de inestabilidad estructural basado en los niveles de daño. El resultado de la evaluación permite emitir un dictamen sobre la necesidad de rehabilitación de la estructura (reparación, reforzamiento o demolición) el cual es sugerido al propietario.

Las evaluaciones son desarrolladas sólo para edificios con 2 o 3 pisos y más de un propietario. Los edificios al ser evaluados son seleccionados mediante una inspección general. Debido a la privacidad de los

ciudadanos los resultados de inspección de habitabilidad son considerados sólo una sugerencia para éstos. Las recomendaciones sólo son obligatorias si está involucrada la seguridad de vecinos y transeúntes

34 .

6.1.4 Método Mexicano

Mario Rodríguez y Enrique Castrillón desarrollaron en el Instituto Nacional de Ingeniería UNAM de México el “Manual de Evaluación de la Seguridad Estructural de Edificaciones”, basado en investigaciones Realizadas para el Departamento del Distrito Federal y publicado por el Instituto de Ingeniería como documento No. 569 en septiembre de 1995. Posteriormente, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica y la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal publicaron una versión corregida bajo el mismo nombre “Manual de Evaluación de la Seguridad Estructural de Edificaciones” en 1998 ³⁵.

Al igual que el proceso propuesto por el ATC – 20, en este método se proponen 3 niveles de evaluación: Una evaluación rápida, una detallada, y una evaluación especializada que debe ser hecha por una oficina de ingeniería. A diferencia del ATC – 20, en el cual se proponen unos aspectos a evaluar, en este método se proponen niveles de daño dependiendo del sistema estructural de la edificación; en esto se asemeja al método Japonés.

El objetivo principal de la primera fase de evaluación es dictaminar si las edificaciones pueden mantener su uso o si el ingreso a ellas debe ser restringido o prohibido. Con esta afirmación se intenta estimar la magnitud del desastre, identificando las características generales de los

daños, lo que puede influir en mejoras o cambios en los reglamentos de construcción vigentes ³⁶.

6.1.5 Método Italiano

En Italia el propósito principal de la evaluación realizada en 1976 fue la evaluación de daños para las edificaciones más antiguas. Después del terremoto de Irpinia en 1980 la necesidad de contar con procedimientos para la evaluación de la habitabilidad fue evidente, sin embargo después del evento no se hizo ningún esfuerzo con relación a desarrollar una metodología apropiada y los procedimientos y formatos variaron de un lugar a otro. Algunas propuestas académicas fueron publicadas por esos días (Gorett, A. 2001).

Un programa de investigación dirigido a introducir los primeros niveles de habitabilidad y de inspección de daños empezaron en 1995, la versión final, con el manual fue publicada en el 2000.

Las inspecciones de edificios son realizadas por solicitudes de los ciudadanos al alcalde de la ciudad quien la remite al Centro de Coordinación de Evaluación de Daños, normalmente localizado en la zona de mayor riesgo. Las evaluaciones de las edificaciones son recopiladas de este centro. Si se sugiere evaluadores el alcalde promulga decretos de evacuación o de uso limitado. Las medidas de control o mitigación sugeridas por los evaluadores, cuando son incorporadas en los decretos se convierten en obligatorias. No se usa el sistema de avisos pegados en las edificaciones.

Los daños son evaluados nuevamente por los diseñadores cuando el gobierno apoya financieramente la reparación de las edificaciones, ya que

estas dependen del nivel de daño y de la necesidad de reforzamiento (vulnerabilidad) ³⁷.

6.1.6 Método del ACI 364.1 R - 94. (Reaprobada en 1999).

Los diferentes comités del ACI en los últimos años se han interesado por la elaboración de informes con respecto a la evaluación de daños y también hacia los procesos de rehabilitación, lo cual junto con las publicaciones oficiales que realiza el ACI cada tres años, forman un completo estudio en ésta área de la ingeniería civil.

Uno de los documentos estudiados y con mayor aporte es el divulgado por el comité 364 del ACI, ya que este informe presenta las pautas y los procedimientos generales que pueden ser utilizados para la evaluación de estructuras en Concreto Reforzado antes de la rehabilitación. Entre los temas se cubren: investigación preliminar; documentación detallada de las investigaciones; inspección del campo y encuesta sobre la condición; muestreo y material evaluación de prueba; e informe final.

Lo más destacado del informe es lo que tiene que ver con las actividades preliminares, ya que destacan paso a paso el procedimiento a seguir y los requisitos necesarios para hacer dicho estudio. También se destacan la amplia gama de pruebas a los materiales, dependiendo de las características de la construcción a estudiar. La evaluación sísmica se considera más allá del alcance de este informe ³⁸.

6.2 Metodologías de Evaluación de Daños Desarrolladas a Nivel Nacional

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica y algunos de sus miembros vienen realizando desde hace algunos años investigaciones sobre el tema de evaluación de daños, participando en experiencias nacionales, en particular la obtenida en la evaluación de daños de los sismos del 8 de febrero de 1995 y el 25 de enero de 1999 en el Eje Cafetero, en las cuales tuvieron especial inherencia *Enrique Castrillón* (1995); *Armando Ramírez* (1996) y *Ana Campos* (1999), incluso internacionales como la de Yugoslavia “University Kiril and Metodij” en el cual participó *Omar D. Cardona* (1985); la del Sistema de Protección Civil de México – Centro de Prevención de Desastres (CENAPRED, 1991) y Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal de la Ciudad de México, basadas en el trabajo de *Enrique Castrillón* (1995) y adoptada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica – SMIS (1998).

Basada en las experiencias internacionales y en algunas locales, se han desarrollado trabajos recientes para la Sociedad de Ingenieros del Quindío (Campos, 2002), la Oficina Municipal para la Prevención de Desastres de Pereira (Toro, 2000) y para la Dirección Distrital de Prevención y Atención de Emergencias de la ciudad de Bogotá (AIS, 2002) y la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres de Manizales (AIS, 2003).

Existen otros trabajos desarrollados a nivel nacional como el coordinado en por el ingeniero Edgar Rodríguez (1993) como miembro de la Comisión Nacional de Riesgo Sísmico y Volcánico liderada por INGEOMINAS, y el desarrollado por Jorge Buelvas (2002) de la Dirección General de Prevención y Atención de Desastres, como producto de su trabajo como requisito de grado en el International Institute of Seismology

and Earthquake Engineering en la ciudad de Tsukuba, Japón, basado en el método del Ministerio de la Construcción del Japón.

En Colombia, la región que más ha trabajado el tema es el Eje Cafetero donde existen formularios de evaluación de daños desde 1992, el primero de los cuales fue elaborado por la Corporación Autónoma Regional de Risaralda - CARDER con base en metodologías de evaluación de vulnerabilidad realizadas por Ana Campos García y Omar Darío Cardona en 1991. Con base a los daños ocasionados por el sismo de 1995 y 1999 se desarrollaron evaluaciones y se ajustaron posteriormente los formularios, los cuales sirvieron de base para el trabajo del Ministerio de Desarrollo para realizar el Censo de Inmuebles Afectados por el Sismo, el cual fue el primer proceso que contó con un manual y una memoria técnica del trabajo desarrollo. Con base en los trabajos anteriores se han desarrollado trabajos también en la ciudad de Manizales, en la ciudad de Armenia y en la ciudad de Bogotá.

Se considera, después de una lectura rigurosa de todos los documentos, que las metodologías más completas son la de Yugoslavia (hoy Macedonia), el ATC-20 de los Estados Unidos, la de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, la del Ministerio de la Construcción del Japón, el Servicio Sísmico Nacional de Italia, la de la Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres – OMPAD de Pereira, el Censo del Eje Cafetero del Ministerio de Desarrollo, los avances realizados por la OMPAD de Manizales, el de la Sociedad de Ingenieros del Quindío y el desarrollado por el AIS para la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias – DPAE en Bogotá. Por esta razón se realiza un análisis más detallado de todo el proceso de evaluación y calificación sólo para estos diez métodos. Aunque los métodos de Turquía y Grecia se consideran bastante robustos, fueron analizados en menor detalle debido

a que la mayoría de la bibliografía encontrada está en el idioma original (turco o griego) ³⁹.

6.2.1 Método de Pereira

En la ciudad de Pereira se aplicó la metodología propuesta por Enrique Castrillón en su tesis de Maestría en la Universidad Autónoma de México – UNAM, versión que fue revisada y contó con una nueva propuesta de formularios rápido y detallado en 1996 elaborada por el ingeniero Armando Ramírez dentro del Proyecto para la Litigación del Riesgo Sísmico de Pereira, Desquebradas y Santa Rosa de Cabal coordinado por la CARDER.

Esta metodología fue aplicada en algunos de los municipios afectados por el sismo del 25 de enero de 1999, especialmente en Risaralda y Armenia. Las evaluaciones fueron coordinadas por los Comités Locales de Prevención y Atención de Desastres con excepción de Armenia donde las evaluaciones fueron coordinadas por la Sociedad de Ingenieros del Quindío.

Posteriormente en el año 2000, el ingeniero Andrés Toro de la Oficina Municipal para la Prevención de Desastres – OMPAD, hizo una revisión de los formularios, haciendo una nueva propuesta que es la que actualmente se encuentra vigente.

Todos estos procesos han generado cambios en los formularios y su gran debilidad se debe a que no han contado con un manual completo que describa la metodología y los criterios de calificación, ya que se han limitado a modificar los formularios y sólo existen algunos pequeños documentos explicativos ⁴⁰.

6.2.2 Método de Censo del Eje Cafetero

A raíz de los Decretos 196 y 350 de 1999, expedidos por el gobierno nacional como consecuencia del terremoto ocurrido el 25 de enero de 1999 en el Eje Cafetero, se dictaron disposiciones que atribuyeron competencias específicas al Ministerio de Desarrollo Económico tendientes a la elaboración de un censo de inmuebles afectados y se dispuso de parte del Ministerio atender lo encomendado en coordinación con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC - , el Instituto Nacional de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana – INURBE - y otras entidades del orden regional y nacional que conforman un equipo de trabajo.

El censo encargado al Ministerio de Desarrollo Económico, estaba diseccionado a la evaluación de los inmuebles que se podrían ver afectados en un futuro; de acuerdo con la exigencia de los Decretos 196 y 350 de 1999, para cumplir con los requisitos de confiabilidad de la información que deberá entregarse a FOGAFIN y al Fondo para la Reconstrucción del Eje Cafetero – FOREC - para la adjudicación de subsidios a los afectados, la cual debía ser certificada por el IGAC, entidad encargada por Ley de los procesos de formación y actualización catastral; se especificó el nivel de la información y se definió la necesidad de un reconocimiento técnico especializado de la calificación y cuantificación de los daños estructurales, arquitectónicos y de servicios, en cada una de las viviendas e inmuebles afectados.

Este método fue desarrollado 6 meses después de ocurrir el sismo del 25 de enero de 1999, con la asesoría de la AIS y especialmente de la Ingeniera Ana Campos, basándose en la experiencia del Comité Local de Prevención y Atención de Desastres de Pereira. Se propusieron dos niveles de evaluación: Una evaluación general y una detallada. La

primera permitió hacer una revisión rápida del total de predios existentes en el Eje Cafetero (320000). La segunda permitió conocer con precisión el grado de afectación de aquellos predios que habían sufrido daños. A diferencia de los anteriores, esta metodología fue diseñada para evaluar la afectación individual de cada predio y después del conjunto de la edificación ⁴¹.

6.2.3 Método de Manizales

Este método fue desarrollado entre 1997 y 1998 por la Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres – OMPAD - con el apoyo del Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico de Pereira, la asesoría del ingeniero Armando Ramírez y el acompañamiento de la Sociedad Caldense de Ingenieros Civiles, fue ajustado en el año 2001 teniendo en cuenta la experiencia del Eje Cafetero en 1999.

Cuenta con un formulario de inspección de daños rápido y uno estructural, se realizaron capacitaciones sobre la forma de diligenciar los formularios, y se definieron procedimientos y aspectos relacionados con la parte organizativa como la división de la ciudad en 5 zonas para un mejor y rápido manejo de las solicitudes y revisiones.

Al igual que el método de Pereira, su gran debilidad se debe a que no ha contado con un manual completo que describa la metodología y los criterios de calificación, y sólo existen pequeños documentos explicativos sobre la parte organizativa, es por esto que la Alcaldía decidió emprender el presente proyecto de “Evaluación de Edificaciones Afectadas por Sismo en Manizales” con el animo de complementar los aspectos existentes y desarrollar las guías y procedimientos necesarios ⁴².

6.2.4 Método de Bogotá

En los últimos años se han realizado en Bogotá trabajos importantes, con el fin de mejorar el conocimiento de la amenaza y para reducir el riesgo en las edificaciones, por lo que además del cumplimiento de los requisitos de diseño y construcción para edificaciones nuevas, se han llevado a cabo estudios de vulnerabilidad de edificaciones indispensables e instituciones educativas, con el fin de definir las necesidades y criterios de reforzamiento de sus estructuras.

Dentro de esta política de reducción del riesgo, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias del Distrito – DPAE - , decidió contratar a la AIS para el “Diseño de la Guía de Inspección de Edificaciones antes de un Sismo”, convirtiéndose en uno de los pocos casos en que se ha trabajado en el tema, sin necesidad de que haya un sismo reciente que lo anteceda en la ciudad.

Este método cuenta con un formulario único y una guía de campo que fue diseñada para evaluar de manera específica cada uno de las edificaciones afectadas, con el objetivo principal de determinar la seguridad de las construcciones, identificar aquellas que son obviamente peligrosas, las que pueden ser habitables, las que deben tener un uso restringido, las que no son habitables o presentan un peligro de colapso por la presencia de daños severos o de elementos que amenazan la vida de un sector específico de la edificación.

El distrito se encuentra actualmente haciendo la convocatoria para el registro de profesionales de la construcción que se quieran inscribir como voluntarios para futuras evaluaciones, con el ánimo de realizar las capacitaciones pertinentes sobre las metodologías y procedimientos ⁴³.

6.2.5 Método del Quindío

La Sociedad de Ingenieros del Quindío – SIQ - ha liderado en este departamento el procedimiento de evaluación de daños desde el sismo de 1999 con el apoyo de los estudiantes de la Universidad del Quindío, realizando y procesando las evaluaciones desarrolladas en la ciudad de Armenia y otros municipios. También han apoyado al Comité Local de Prevención y Atención de Desastres en evaluaciones de daños debidas a otros fenómenos naturales como los vendavales, deslizamientos e inundaciones.

Con el fin de sistematizar la información del sismo de 1999 y contar con procedimientos planificados y una metodología que permitiera dar una respuesta rápida a la comunidad frente a cualquier evento, se decidió buscar el apoyo de la CRQ, la Gobernación del Quindío y la Alcaldía de Armenia en el años 2001 y 2002.

Dentro de este proceso se contrató a la ingeniera Ana Campos para elaborar un Manual de Elaboración de Daños en Edificios y otros fenómenos naturales en el Quindío, junto con el Manual para el Diligenciamiento del Formulario Geotécnico, y cuatro formularios: Dos de evaluación de daños en edificios, uno rápido y otro estructural; uno de evaluación geotécnica y uno de daños por sectores para diferentes fenómenos naturales, los cuales sirven para valorar el impacto de los diferentes fenómenos naturales, establecer una clasificación de los daños y definir las posibilidades de uso de las edificaciones.

Este método al igual que el de Bogotá, todavía no ha sido aplicado y la SIQ esta realizando actualmente los procesos de concertación con las diferentes entidades con el ánimo de planificar los procedimientos y realizar las capacitaciones pertinentes ⁴⁴.

6.2.6 Conclusiones sobre las Metodologías en Patología avanzadas

El método Yugoslavo es el más completo en la descripción de la edificación, evalúa todas las categorías (dirección, identificación del sector de la ciudad donde está localizada la edificación, posición de la edificación en la manzana, información del propietario, clasificación del uso de la edificación, tipo de estructura, tipo de cubierta, calidad de la construcción, número de niveles o pisos, número de apartamentos, información sobre el suelo o configuración del terreno, configuración en planta o en altura, período de construcción, reparaciones por sismos anteriores, área de la edificación y esquema o fotografía), este aspecto es favorable en el sentido que proporciona muy buena información sobre los tipos de edificación afectados lo cual puede ser usado para fines de calibración de metodologías de vulnerabilidad. La calificación del daño está basada en las definiciones de ligero, moderado, fuerte y severo, que como se mencionó anteriormente pueden ser bastante subjetivas de acuerdo a la interpretación y experiencia de los evaluadores.

La Metodología del ATC – 20 al igual que en el Método Yugoslavo, se presta para interpretaciones del evaluador en la calificación del grado de severidad. Llama la atención el hecho de que esta metodología sea una de las pocas que no considera una descripción de la configuración del terreno, la poca relevancia que se le da a este tema podría explicarse por la topografía tan plana que caracteriza a California, sitio donde fue formulada y aplicada la metodología.

El método Japonés es uno de los más completos y detallados en la descripción de la edificación y la evaluación de los daños, tiene varios niveles de evaluación y está basada principalmente en criterios

cuantitativos, se miden los asentamientos, los grados de inclinación, el número de elementos afectados con relación al total de elementos existentes, el grado de severidad del daño está basado en criterios cuantificables y descripciones sobre el tamaño de las fisuras lo que hace que este método se considera uno de los menos subjetivos, aunque del otro lado podría considerarse como uno de los más complejos y dispendiosos.

El método Mexicano también se considera bastante completo en la evaluación de daños, pareciéndose más en lo cuantificable de los criterios y las descripciones sobre tamaños de fisuras, etc. Podría considerarse también como un método que no se presta a la subjetividad en la evaluación. Se destaca que es el formulario más extenso conformado con cuatro páginas.

En el informe del ACI 364.1 R-94, en términos generales se realiza un proceso organizado, claro y definido de los pasos necesarios en una evaluación de daños, pero a la vez, por basarse en los informes realizados por ellos mismos años anteriores, algunas de las pruebas y procedimientos no se pueden aplicar en Colombia, ya que las condiciones geográficas de California son diferentes a las de nuestro país, siendo el inconveniente más notorio la falta de una evaluación sísmica con lo cual se pueda hacer una evaluación más específica y menos general de los procesos a seguir.

La versión actual del formulario para Pereira tiene mucha influencia y por lo tanto es muy similar al método mexicano que existía en 1995, no cuantifica la extensión del daño en términos de elementos o porcentaje de elementos afectados, sino en términos del número de pisos en que se

presentan daños, especificando solamente un piso, varios o todos. No existe claridad para poder combinar la severidad de los daños con su extensión, tanto el formulario rápido como en el detallado. Tampoco existe una definición de qué se considera como leve, moderado o severo por lo tanto la evaluación se vuelve subjetiva.

El método de Manizales es el único que actualmente cuenta con un manual, no tiene definido qué es daño moderado, intermedio o severo para los diferentes elementos y sólo cuenta con descripciones “lingüísticas” de la apreciación del daño de la edificación, lo cual hace que su aplicación sea subjetiva. Las preguntas sobre si las fallas son por cortantes, flexión o aplastamiento hacen que sólo personas con mucha experiencia lo puedan evaluar correctamente.

En el Censo del Eje Cafetero trató de subsanar el problema anterior, usando criterios de los métodos mexicanos y japonés. Por haber sido diseñado para fines de definición de aplicabilidad de subsidios se vuelve complicado su uso sin la realización de modificaciones por la evaluación individual de predios, la recopilación de números de matrículas de servicios públicos, la evaluación del tipo de tenencia del predio, número de la cédula del propietario, la existencia o no de una póliza de seguro, etc.

Los métodos desarrollados para Bogotá y Armenia, son los que se adaptan de una mejor forma a las condiciones de este país, ya que se consideran los más completos y con un enfoque que trata de garantizar la objetividad de la evaluación, ya que cuentan con una propuesta para cuantificar los daños en términos de los tamaños de las grietas, tipos de falla y porcentaje de elementos afectados.

7 PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LA EVALUACIÓN DE DAÑOS

Con base en la revisión de las experiencias internacionales y nacionales, se puede observar que se han presentado problemas en los procesos de evaluación de estructuras que son similares en los diferentes países, y que han causado pérdidas económicas por no tener establecido una metodología ordenada y completa, que conlleva muchas veces a hacer afirmaciones erróneas. Los problemas más relevantes en términos generales son los siguientes:

7.1 Falta de Entrenamiento y Calificación de los Evaluadores

Es fundamental que se realice una divulgación y capacitación previa de los profesionales que van a participar en el proceso de evaluación de daños, así como la selección de un grupo más especializado para la toma de decisiones más difíciles. Otra recomendación importante es la conformación de equipos de evaluación de dos personas para la evaluación rápida (dos inspectores de obra o un inspector y un ingeniero) y de tres personas (un inspector de obra, un arquitecto y un ingeniero estructural) para la detallada, según las recomendaciones del ATC-20-2.

Finalmente y teniendo en cuenta que aun cuando lo anterior es deseable, dado que no es siempre factible hacerlo de manera extensa se recomienda que una fase posterior a este trabajo se realice un procedimiento de apoyo con inteligencia computacional que permita respaldar los casos más difíciles que deben revisar los neófitos que participen en una evaluación masiva.

Por todos estos aspectos, se requiere buscar las personas más idóneas en el tema, para que en base a su experiencia personal, puedan lanzar con autoridad juicios, o propongan posibles soluciones en el momento de hacer una evaluación de daños.

7.2 Subjetividad en las Evaluaciones

Los niveles de daño son definidos en la mayoría de los métodos de evaluación con calificaciones lingüísticas como leve, menor, moderado, severo, grave o fuerte; conceptos que pueden tener una notable variación en su significado según la persona y experiencia de quien los utilice. Por esta razón se puede decir que no existe un límite claramente definido entre estas valoraciones. Lo que para una persona es moderado para otra puede ser severo, así como puede estar en medio de los dos conceptos para otra, por esto es necesario intentar unificar el sentido de estos conceptos y volver la evaluación lo más cuantitativa posible determinando porcentaje de elementos afectados, tamaño y tipo de grietas, etc. Pero mientras esto ocurre, se requiere de un proceso de transformación que sirva como “puente”, entre las dos valoraciones, para así empezar a clarificar criterios, y en futuro todos los ingenieros se rijan bajo una misma forma de calificación mundialmente establecida.

7.3 Problemas en la Ubicación de los Predios

Un problema muy común es la falta de estandarización de las direcciones lo que genera no sólo que se repitan en muchas ocasiones las visitas, sino que también dificulta su correlación con las fichas catastrales o su ubicación sobre un mapa. Este aspecto revela un desorden de

planificación en los organismos estatales y gubernamentales, encargados de llevar el registro de las edificaciones con sus respectivos planos, básicamente por falta de un control estricto a la ubicación de los diferentes predios.

Estos inconvenientes traen consigo, problemas de organización en el inicio de los procesos, y así mismo, la pérdida de tiempo en la realización de los procesos de evaluación de daños, que casi siempre se transforma en pérdidas económicas.

7.4 Falta de Organización y Sistematización de los Registros

La sistematización mediante computadores es actualmente la única manera de poder manejar la información ágil y eficientemente. La importancia de esta herramienta de trabajo, es que gracias al computador se puede llevar un registro de los daños en estructuras que han ocurrido en los últimos años. El volumen de datos que se puede generar un futuro sismo severo es tal, que lo que se necesita es una red de computadores con un equipo de personas capacitadas en su manejo. Pero así como se puede encontrar información útil en los computadores o más específicamente en Internet, también hay muchas cosas, que son intrascendentes o sin ninguna relevancia, que solo funcionarios con el conocimiento y dominio del tema apropiado, pueden descartar de inmediato.

7.5 Falta de un Plan de Contingencia Absoluto

Es importante realizar un recorrido relámpago por la ciudad antes de empezar los procesos de evaluación rápida, con el propósito de generar información preliminar sobre la extensión del daño, la extensión de las áreas de mayor intensidad de daños, identificar las edificaciones obviamente inseguras para iniciar los procedimientos de emergencia, determinar la necesidad de la declaración de desastre y solicitud de ayuda externa. Estos recorridos pueden ser realizados por bomberos, policías y personal de las entidades de socorro.

La falta de un conocimiento sobre los procedimientos legales, la definición de los procesos de toma de decisiones sobre evacuación, demolición o retiro de objetos de las edificaciones irregulares, genera que se evacuen o demuelan edificaciones sin necesidad, se pierdan vidas innecesariamente, se incurra en errores que pueden tener grandes implicaciones legales, etc.

Por todo esto, se requiere que los estamentos del gobierno encargados de estos temas, tomen conciencia de este aspecto, y realicen planes de contingencia con una planificación adecuada, que mitiguen en cierta medida los daños que se pueden presentar, a través de la elaboración de unas metodologías claras y adecuadas que puedan aplicar a cualquier edificación.

7.6 Falta de Planificación de las Visitas

Las visitas a las edificaciones por falta de planificación, en ocasiones no cubren el 100% de las viviendas cuando se hacen estudios en barrios o sectores, sino que se programan, de acuerdo a las solicitudes que la población hace telefónica o personalmente. Esto denota negligencia por parte de las personas encargadas de hacer estas inspecciones, para

llevar a cabo valoraciones completas, y a la vez se pone en tela de juicio la ética de los profesionales a la cabeza de dichas evaluaciones. Esto genera la necesidad de enviar comisiones muchas veces al mismo sector, trayendo por ello un sobre costo inoficioso en gastos.

7.7 Manejo Inadecuado de los Ocupantes de las Edificaciones

La experiencia del evaluador y la forma como se maneje la información sobre el estado de la edificación y como se le comunique a los propietarios hará que las recomendaciones sean acatadas o no, o se soliciten nuevas evaluaciones por parte de otros profesionales, por ello se hace énfasis nuevamente en la responsabilidad y compromiso que tienen los inspectores frente a las personas propietarias del inmueble.

El manejo y trato con personas dueñas de las edificaciones es muy complejo, por dos aspectos: Primero que todo muchas personas, no reportan a tiempo daños que se estén presentando a simple vista, como por ejemplo las fisuraciones, que es una Patología que inicialmente y tratada a tiempo no representa ningún riesgo de gran consideración, pero si se deja avanzar puede traer consigo graves problemas estructurales, en su lugar ellos mismos hacen correcciones a este problema, muchas veces sin el uso del método y los materiales apropiados. Y lastimosamente cuando se reportan dichas anomalías, resulta mucho más costoso su reparación debido a la tardanza en su aviso a las personas calificadas.

En segunda instancia, hay que tener cuidado en el momento de hacer las valoraciones y calificaciones de las estructuras respectivas por parte de los ingenieros a cargo, debido a que si la gravedad de los daños lo indican, hay ocasiones, en que hay que desalojar la edificación porque la

estructura esta en peligro de sufrir un colapso en cualquier momento. Es en este punto, donde hay que tener cabeza fría, para informarles esta noticia a los propietarios del inmueble, debido a que las personas por su situación social, no tienen los recursos para la compra de otra edificación, y por ello, se resistirán a abandonar el lugar, arriesgando su vida, a cambio de un techo donde dormir.

Para solucionar este inconveniente, el gobierno debe elaborar un plan de ayuda a través de financiaciones de vivienda en estos casos a las personas afectadas, para su reubicación cuanto antes, y así evitar pérdidas de vidas humanas.

8 PROPUESTA DE METODOLOGIA DE EVALUACION EN PATOLOGIA ESTRUCTURAL

Para el planteamiento de una metodología en la evaluación de daños, se realiza una investigación de las normas, códigos, libros, revistas, publicaciones y metodologías que se encuentran alrededor del mundo, haciendo énfasis en las más recientes y en las que ya se han aplicado en el país, esto con el fin de buscar la realización de una propuesta que se adapte a nuestro medio.

La estructura general de la metodología a plantear se basa en términos de:

- Los informes del American Concrete Institute - ACI - publicados en los últimos años (ACI 364.1 R-94. Reaprobada en 1999), de las Normas FEMAS 273, 274, 302 A, 303 A y del Código ACI 318 – 02; que establecen las divisiones generales (Investigación Preliminar e Investigación Detallada) y algunos aspectos menores.
- Las metodologías de evaluación de daños a nivel internacional y nacional para estructuras en concreto existentes en Colombia; se obtienen formatos de evaluación, cuadros adicionales con criterios para la clasificación de estructuras, y formas de calificación de una edificación.
- Los diferentes documentos y artículos que ingenieros han publicado alrededor del mundo; se encuentran las fotos para ilustrar las pruebas que se le hacen a los materiales, los equipos

usados para hacer dichas pruebas “in situ” o en el laboratorio y los materiales usados en todos estos procesos.

8.1 Generalidades

Los estudios previos a una rehabilitación “Patología” son de vital importancia porque en ellos encontramos el fin de la misma y encontramos cuales fueron los problemas que ocasionaron el daño. Este estudio previo se debe hacer con el fin de:

- Determinar si debe ser cambiado el uso de una estructura, el refuerzo debe ser mejorado o acomodado, y si debe ser ampliada la estructura, dependiendo de las condiciones existentes.
- Estipular la capacidad y la integridad estructural de una edificación o de los elementos seleccionados.
- Evaluar los problemas que se produjeron por cargas altas inusuales, diseño inadecuado, prácticas pobres de la construcción, sobrecargas, incendios, inundaciones, fundación inestable, deterioro, resultados de la abrasión, efectos de fatiga, el ataque químico, el desgaste por la acción atmosférica, o mantenimiento inadecuado, etc.
- Establecer la viabilidad de modificar la estructura existente en concordancia con los códigos y las normas actuales.

8.2 Propósito

Brindar una base para la evaluación de estructuras de concreto mediante la recopilación, investigación, y procesamiento de información, cabe notar que este procedimiento no tiene como alcance a las vías, canales, puentes, presas, túneles, etc. La aplicación de esta metodología permite inferir el riesgo y vulnerabilidad, ofreciendo elementos para la elaboración de planes de mitigación y prevención, y aportando información que permita ser utilizada en la planificación física y urbana de las ciudades.

El proceso a seguir inicia con la realización de una investigación preliminar, donde se plantean las bases y las condiciones necesarias para efectuar el proceso de evaluación de daños; siguiendo con una investigación detallada, donde se trata de una manera más profunda las patologías, y en donde se establecen claros criterios de clasificación de las viviendas dependiendo de los daños encontrados.

8.3 Investigación Preliminar

Por el gran volumen de información que hay que evaluar cuando se presentan daños o las estructuras dan sus primeros anuncios de fallas, la evaluación preliminar debe ser un procedimiento ágil que permita de forma dinámica cubrir el mayor número de estructuras en poco tiempo, generar un panorama de la severidad de los daños, de las medidas de emergencia que se deben tomar, de las evaluaciones especializadas que se deben realizar posteriormente y no debe requerir personal demasiado calificado ya que normalmente no se cuenta con un número suficiente de profesionales expertos en el comportamiento de estructuras para el volumen de edificaciones afectadas.

Se realiza una recopilación de información con el fin de determinar la viabilidad de una evaluación de daños y si es necesario de un estudio previo, para lo cual se debe mantener al tanto al dueño con el fin de que éste de el visto bueno, sus opiniones y los alcances que el espera de la investigación, así mismo plantear los objetivos, para la aceptación del proyecto, para lo cual se debe presentar un informe escrito en donde se precise:

- Los objetivos de la investigación.
- El alcance del estudio.
- El acuerdo entre las partes.

Dicho informe se lleva a cabo con el fin de determinar la viabilidad y disposición del dueño, y determinar diversos factores: Si la estructura amerita una rehabilitación, o si su deterioro es tal que no se puede recuperar siendo esta opción muy costosa. Por lo tanto, es conveniente analizar estos factores según lo establecido en el ACI 364.1 R-94. (Reaprobada en 1999) ³⁸.

Investigación

Esta se realizará una vez el proyecto tenga la fase anterior terminada y la continuación del proyecto y sus costos estén aprobados por el dueño. Los pasos a seguir son:

- Objetivo de la Evaluación.
- Profesionales y tiempo de evaluación requerida.
- Documentación.
- Observaciones del campo y encuesta sobre las condiciones.
- Muestreo y pruebas de los materiales.

- Inspección y descripción de los daños.
- Criterios para la clasificación del daño.
- Categorías para la Clasificación Global de la Edificación.
- Recomendaciones y Medidas de Seguridad.
- Evaluación.
- Informe Final.

8.3.1 Objetivo de la Evaluación

La evaluación preliminar tiene como objetivo principal determinar si las edificaciones están en capacidad de tener un uso normal o si la entrada debe ser restringida o prohibida. Se pretende con ésta reducir el número de pérdidas de vidas ante la posibilidad de volcamiento y caída de objetos debido a la ocurrencia de desplazamientos o nuevas cargas.

8.3.2 Profesionales y tiempo de evaluación requerida

Las metodologías preliminares son diseñadas teniendo en cuenta la necesidad de tener rápidamente un panorama general y de emplear en este proceso el mayor número de personas relacionadas con la actividad de la construcción, pero sin requerir personal muy especializado como ingenieros estructurales y geotecnistas.

Perfil del Personal Requerido: Especialista, Constructor, Arquitecto, Inspector, Técnicos en Obras Civiles y Topógrafos.

Tiempo de Evaluación Estimado: Dependiendo del tamaño de la obra a analizar y también de la cantidad de personas involucradas se considera

que se gastaría entre 1 hora y 2 horas dependiendo también de las condiciones existentes en la estructura.

8.3.3 Documentación

Consiste en la identificación, descripción e información general de la edificación; para ello se deben tener en cuenta los planos, especificaciones, expedientes de la construcción como las cargas de diseño, así como las tensiones permisibles y los datos de los materiales de la estructura, la cimentación y el suelo, según lo establece el ACI – 02⁴⁵.

8.3.4 Observaciones del campo y encuesta sobre las condiciones

Inspección Visual

Es recomendable que la inspección visual de la estructura se lleve a cabo una vez se han cumplido las fases anteriores y revisión del proyecto original, pues la visita de inspección a la estructura debe basarse en la información recogida.

Como el objetivo principal de la investigación preliminar es determinar la naturaleza y extensión de los problemas observados, e identificar los miembros afectados, es indispensable adelantar un recorrido de la estructura para hacer un registro lo más completo posible de los daños. En este recorrido, se pueden identificar y registrar daños como los siguientes ⁵:

- Desplomes.
- Desalineaciones.
- Planos de falla y fisuras por acciones físicas.
- Cambios de aspecto en la masa.
- Fisuras estructurales.
- Deflexiones y movimientos.
- Fracturas y aplastamientos.
- Erosión.
- Descascaramiento.
- Exfoliación.
- Polvo.
- Desmoronamientos.
- Ablandamiento (pérdida de rigidez).
- Hinchamientos y reventones.
- Contaminación por polución.
- Cultivos biológicos (biocapa).
- Meteorización.
- Decoloración y manchado.
- Eflorescencias.
- Lixiviación.
- Cristalización.
- Reacciones deletéreas.
- Expansión.
- Biodeterioro.
- Corrosión del acero de refuerzo.
- Corrosión de otros metales embebidos.
- Otros.

FIGURA 97. ALGUNOS ELEMENTOS PARA ADELANTAR LA INSPECCIÓN VISUAL.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁴⁶.

Selección de Recursos para la Inspección

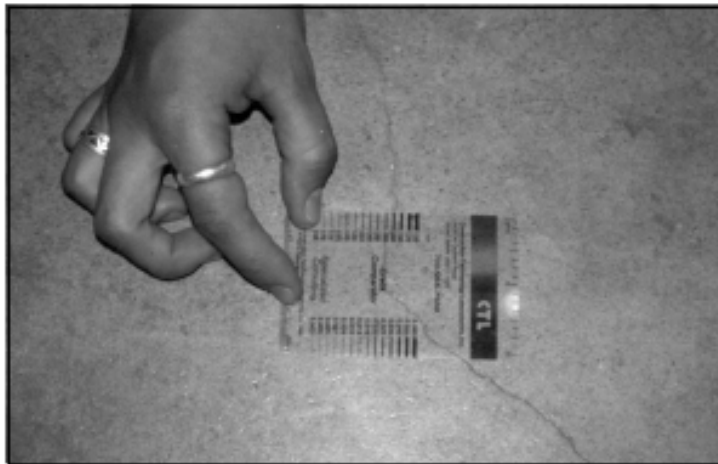
En la medida en que las fases anteriores lo ameriten, debe identificarse el personal que debe intervenir en la inspección; así como seleccionar los elementos y equipos más apropiados para adelantar la inspección. Entre los equipos más útiles se cuentan los siguientes:

- Anteosjos y/o binóculos.
- Lupa.
- Cámaras fotográficas y/o video.
- Nivel de mano.
- Grabadora.
- Cinta Métrica o distanciómetro.
- Comparador de fisuras.
- Equipos de topografía y/o nivelación.
- Equipos para auscultación y exploración.
- Frascos y bolsas con cierre hermético.
- Escalera, andamios, etc.
- Elementos de seguridad y protección.

Mediciones

En adición a la inspección visual, las investigaciones de campo deben incluir mediciones de los miembros, longitud de luces, deflexiones y desniveles encontrados en la estructura motivo de la investigación. En algunos casos, es indispensable realizar un levantamiento topográfico y/o altímetro y/o batimétrico de las estructuras y localizar de manera precisa los daños. Los desplazamientos, fisuras, separaciones y distorsiones deben en la medida de lo posible, medirse y registrarse en el plano o “Mapa de Daños”. Algunas otras mediciones pueden ser importantes como: Humedad, Temperatura y Presión.

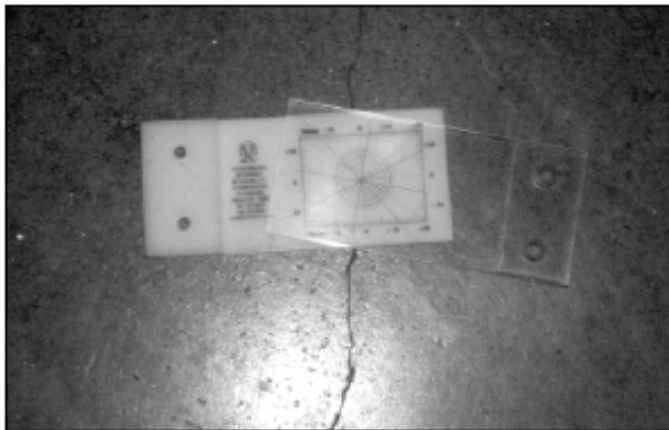
FIGURA 98. MEDIDA DEL ANCHO DE FISURAS, MEDIANTE UN COMPARADOR DE FISURAS.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁴⁶.

También debe considerarse que en muchos casos puede interesar instrumentar la estructura, para medir la evolución de algunas magnitudes como asentamientos, niveles, desplomes, movimientos relativos y actividad de fisuras.

FIGURA 99. MEDIDA DE LA ACTIVIDAD DE FISURAS, MEDIANTE TESTIGOS DE VIDRIO.



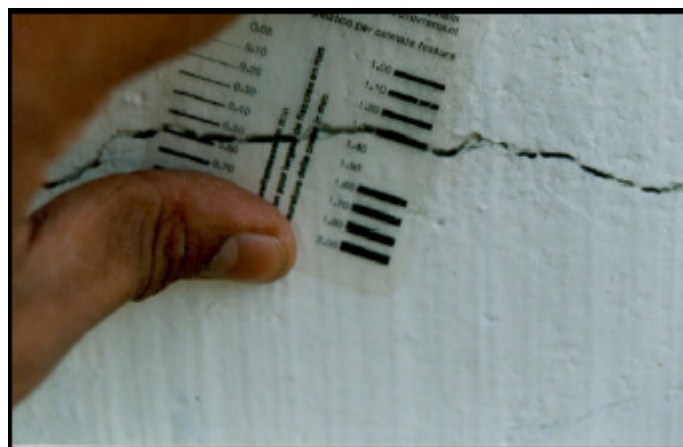
Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁴⁶.

Durante la visita de campo se debe realizar una evaluación visual con el fin de determinar la severidad de los daños y tomar archivos para el análisis como fotos, videos, bosquejos, etc. Las grietas, escamas y refuerzo de acero se deben identificar según el ACI 201.1R:

- Las fisuras se deben medir y registrar para la anchura, profundidad, longitud, localización, y tipo (es decir, estructural o no estructural). Las grietas estructurales se deben identificar más a fondo, aspectos como la flexión, el esquiileo, o tensión directa, si es sabido.
- Los patrones de la grieta deben ser trazados. Los resultados de la supervisión de la grieta o las recomendaciones para tal supervisión deben ser consideradas.
- El romper con almádena, escalamiento, florescencia, y otros defectos superficiales deben ser medidos y registrados.


- Corrosión de barras que refuerzan, incluyendo el grado y la cantidad de sección transversal pérdida, debe ser medida y registrada.
- Conectores flojos, corroídos, o de alguna manera defectuosos.
- Para los elementos de concreto prefabricado, o los lazos arquitectónicos los elementos o el revestimiento deben ser observados.
- Deformaciones, si son permanentes o transeúntes bajo cargas, pandeo de las columnas (de la plomada hacia fuera o hacia adentro), y otros desalineamientos, la supervisión se debe considerar, como apropiada.
- Muestras del establecimiento o la base de la fundación, relacionado con la señal de socorro, debe ser observada.
- La salida del agua, acumulando las áreas de drenaje pobre, u otras indicaciones de los problemas del agua deben ser observados.
- Evidencia de la deterioración química agresiva tales como el ataque del sulfato y el ataque del ácido deben ser observados ²².

FIGURA 100. LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE FISURAS.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

Se hace necesario en cualquier procedimiento de evaluación de edificaciones, poderlas identificar de acuerdo a su localización, nomenclatura o nombre del edificio y definir algunos aspectos relacionados con sus características físicas como número de pisos, tipología estructural, etc. También aspectos relacionados con el uso ya que permiten entender y definir la edificación objeto de la evaluación, describirla y visualizar la importancia que ésta puede tener desde el punto de vista de atención de la emergencia o número de personas que la ocupen.

 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	
METODOLOGIA DE EVALUACION EN PATOLOGIA ESTRUCTURAL R & L INVESTIGACION PRELIMINAR	
FORMULARIO 1	
Identificación de la Edificación	
Dirección	Carrera: _____ No. _____ Calle: _____ No. _____ Avenida: _____ No. _____
Barrio o Corregimiento:	_____
Manzana:	_____ Casa No. _____
Nombre del Edificio:	_____
Observaciones:	_____ _____
Altura del Edificio	Area de la Base de la Edificación (m ²): _____ Número de Pisos: _____ Número de Placas Aereas: _____ Número de Sotanos: _____
Observaciones:	_____
Se Encuentra Habitada	

SÍ: _____	NO: _____
Número de Predios Existentes:	_____
Número de Predios no Habitables e Inseguros:	_____
Antecedentes de la Estructura	
Fecha de Puesta en Servicio:	_____
Resistencia del Concreto a la Compresión en Obra:	_____
Anomalías Observadas durante la Construcción:	_____
Anomalías Anteriormente Detectadas:	_____
Inspecciones Rutinarias:	_____
Ensayos Particulares:	_____
Tipo de Mantenimiento:	_____
Datos Particulares de la Estructura	
<i>Propiedades de los Materiales</i>	
Tipo de Cemento:	_____
Tipo de Agua:	_____
Naturaleza de Aridos:	_____
<i>Diseño del Concreto:</i>	
Resistencia a Compresión Vigas:	_____
Relación Agua / Cemento:	_____
Uso de Aditivos:	_____
<i>Tipo de Uso</i>	
Residencial:	_____
Comercial:	_____
Educacional:	_____
Parqueaderos:	_____
Oficinas:	_____
Otros:	_____
<i>Salud:</i>	
Hotelería:	_____
Bodegas:	_____
Industrial:	_____
Institucional:	_____
<i>Tipo de Cubierta</i>	
Placa de Concreto:	_____
Teja de Barro:	_____
Asbesto Cemento:	_____
Otro Tipo de Teja:	_____

<i>Tipo de Estructura</i>	_____	Mampostería Simple:	_____
Portico de Concreto:	_____	Estructura Metálica:	_____
Mampostería Confinada:	_____	Estructura Mixta:	_____
Mampostería Reforzada:	_____	Madera:	_____
Muros en Bahareque:			
<i>Persona para Contacto</i>			
Nombres y Apellidos:	_____		
Teléfono:	_____		

8.3.5 Muestreo y pruebas de los materiales

En una investigación preliminar, rara vez se extraen muestras del concreto. Pero cuando se practica la extracción, estas muestras consisten en núcleos (extraídos según la norma NTC 3658 (ASTM C 42) o pequeños especímenes para hacer exámenes de carácter petrográfico.

Algunas veces se extrae polvo para hacer ensayos químicos, como la determinación del contenido de cloruros (NTC 4049, ASTM C 1218, AASHTO 260). También, se puede tomar muestras del acero de refuerzo para ser analizadas y determinar resistencia, dureza y contenido de carbón.

Muestreo

Consiste generalmente en extraer corazones y especímenes pequeños que permitan la evaluación de la resistencia a la compresión y en estudios químicos para determinar la composición el Ion cloruro.

Retiro exploratorio

Se consideran cuando se presentan daños muy severos con el fin de realizar un análisis de laboratorio, para ser mas certeros en el diagnostico de la situación de la estructura.

Auscultación de la Estructura

Las observaciones y medidas, pueden ser complementadas con algunos ensayos de auscultación de la estructura y sus miembros, mediante pruebas no destructivas. Sin embargo, debe tenerse presente que este tipo de ensayos ofrecen ayuda para identificar los sitios o zonas donde serían más útiles otro tipo de pruebas que puedan requerirse.

Prueba no destructiva

Son recomendadas para tener una mejor observación y visualización del problema, entre las recomendadas se encuentran:

- Impacto acústico con martillo (el sonar una cadena que arrastran):

La forma más barata y rápida de auscultar una estructura es el uso de un martillo convencional (o de Geología), que por el sonido que despide puede indicar si hay presencia de vacíos, delaminaciones y/o discontinuidades superficiales en el concreto.

- Martillo del rebote o esclerómetro (ASTM C 805):

El martillo de rebote o esclerómetro, es un equipo que permite estimar la resistencia aproximada del concreto, basado en curvas de calibración con una limitada precisión. También permite

comparar la calidad del concreto (uniformidad a nivel superficial) entre diferentes áreas de un espécimen o miembro estructural ⁴⁶.

FIGURA 101. ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA APROXIMADA DEL CONCRETO Y SU UNIFORMIDAD, MEDIANTE EL USO DE UN ESCLERÓMETRO DIGITAL.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁴⁶.

FIGURA 102. EJEMPLO DEL USO DE ESCLERÓMETRO.



Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

➤ Localizador de barras y recubrimiento (Pachómetro):

La detección del acero de refuerzo, el espesor del recubrimiento y la prospección del diámetro de las barras, es posible mediante el uso de un localizador de barras, también conocido con el nombre de pachómetro, sin necesidad de remover la capa superficial del concreto. Este, es un equipo magnético que puede medir el recubrimiento hasta unos 30 cm de profundidad.

FIGURA 103. DETERMINACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN, PROFUNDIDAD Y DIÁMETRO DE BARRAS DE REFUERZO, MEDIANTE EL USO DE UN PACHÓMETRO.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁴⁶.

➤ Barrido de elementos estructurales (Ferroskan):

El barrido de los elementos estructurales se debe realizar utilizando un equipo llamado “Ferroskan” que permite conocer la posición del refuerzo, el número de barras longitudinales y transversales, el espaciamiento entre barras, su diámetro y profundidad; además, posee un software que permite transferir los datos desde el monitor del Ferroskan RV 10 al computador para un posterior procesamiento y análisis. El barrido se puede realizar en las columnas, escogiendo los pisos donde se facilite el proceso y donde se pudiere conocer la continuidad del refuerzo. En cuanto a las vigas, sólo se acostumbra escanear las de los primeros pisos ya que son más accesibles (por el parqueadero) y las localizadas en el vacío. Algunos elementos son escaneados en sus tres tercios con el objeto de poder determinar si el diseñador utilizaba el concepto de confinamiento.

Los resultados obtenidos permiten conocer el área de refuerzo longitudinal, la cual es introducida en un modelo computacional. Este aparato fue usado con mucho éxito en la Evaluación dinámica del edificio general José María Córdoba en la ciudad de Armenia ⁴⁷.

FIGURA 104. FERROSCAN, EQUIPO UTILIZADO PARA EL BARRIDO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE PERMITE CONOCER LA POSICIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.



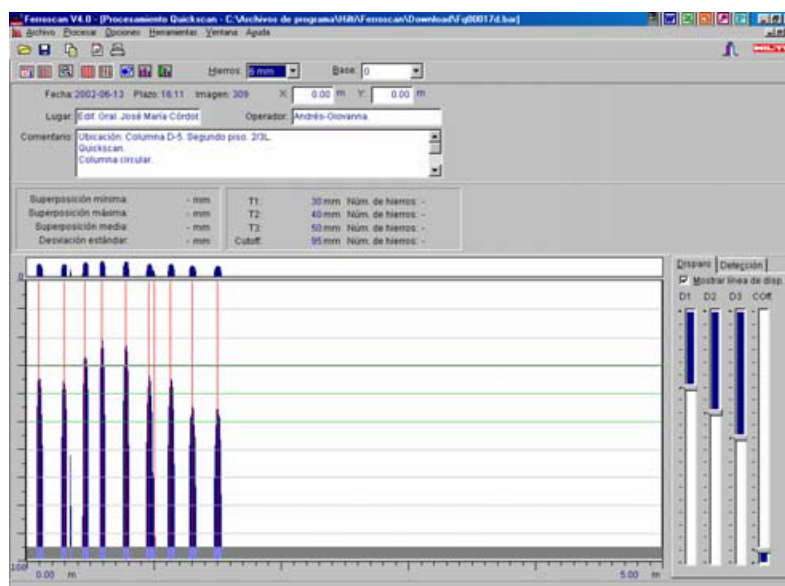
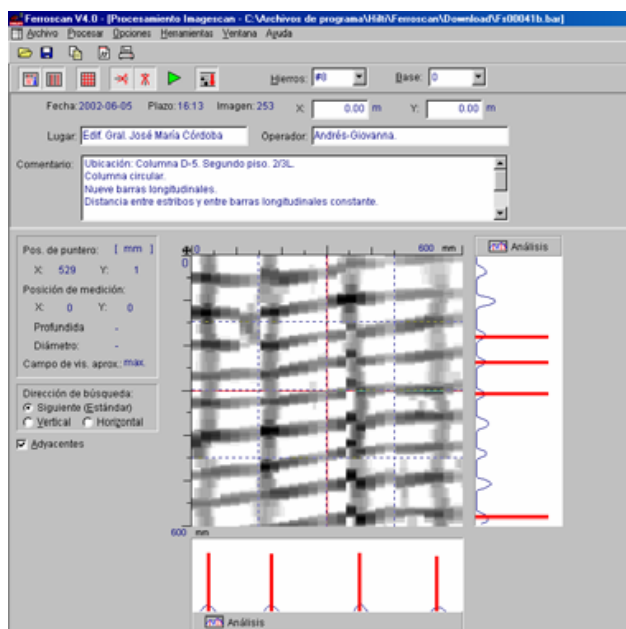
Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

FIGURA 105. LOCALIZACIÓN DE REFUERZO - FERROSCAN: A) SOBRE MUROS; B) SOBRE PLACAS.



Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

FIGURA 106. TIPOS DE IMÁGENES PROCESADAS POR EL FERROSCAN: A.) IMAGSCAN (REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL ACERO DE REFUERZO) Y B.) QUICKSCAN (LOCALIZA RÁPIDAMENTE LAS BARRAS DE REFUERZO PERPENDICULARES A LA DIRECCIÓN DEL BARRIDO).

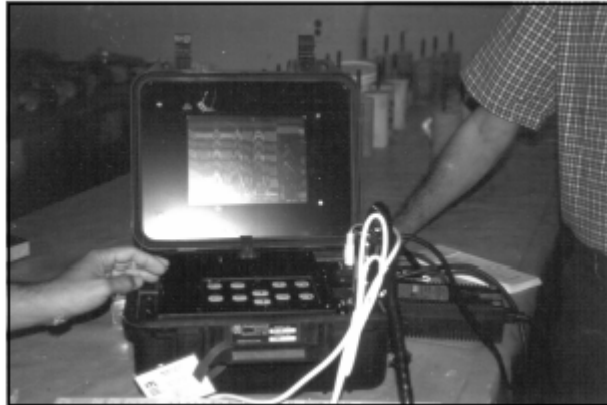


Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

➤ Radar y Rayos X:

Otros equipos que también permiten localizar metales embebidos en el concreto (cuando el pachómetro no es capaz de suministrar la información), son el radar y el detector de rayos X.

FIGURA 107. LOCALIZACION DE BARRAS REFUERZO, CON EL USO DE RADAR.

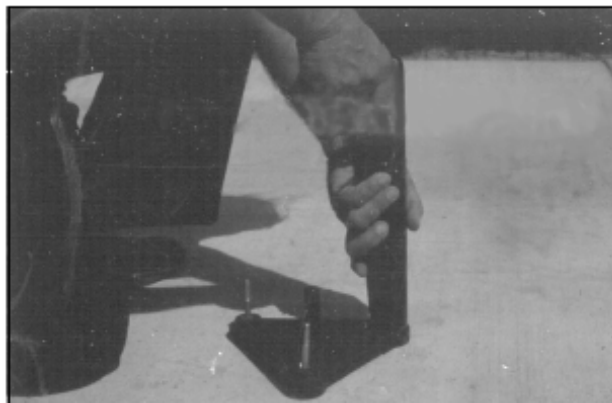


Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁴⁶.

- Resistencia de la penetración, pistola de Windsor (ASTM C 803):

El ensayo de resistencia a la penetración o pistola de Windsor, también permite estimar de manera aproximada la resistencia del concreto, su uniformidad a nivel superficial, y su calidad general.

FIGURA 108. ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA APROXIMADA DEL CONCRETO Y SU UNIFORMIDAD, MEDIANTE EL USO DE LA PISTOLA DE WINDSOR.

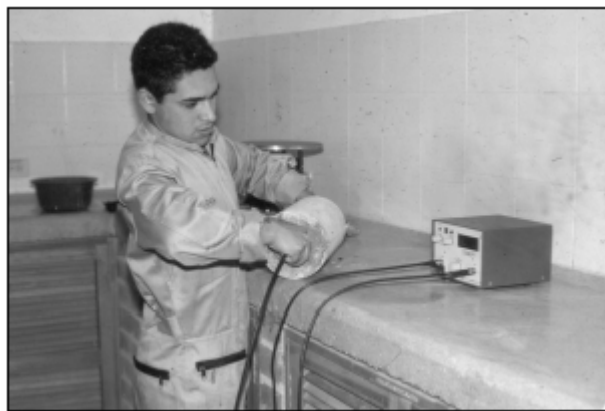


Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁴⁶.

➤ Velocidad de Pulso Ultrasónico (ASTM C 597):

La determinación de la velocidad de pulso ultrasónico, suministra un estimativo de la uniformidad, calidad o resistencia a la compresión del concreto, mediante curvas de calibración previamente elaboradas.

FIGURA 109. ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA APROXIMADA DEL CONCRETO Y SU UNIFORMIDAD, MEDIANTE EL USO DE UN EQUIPO DE ULTRASONIDO.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁴⁶.

➤ Medidor de Humedad (ASTM D 3017):

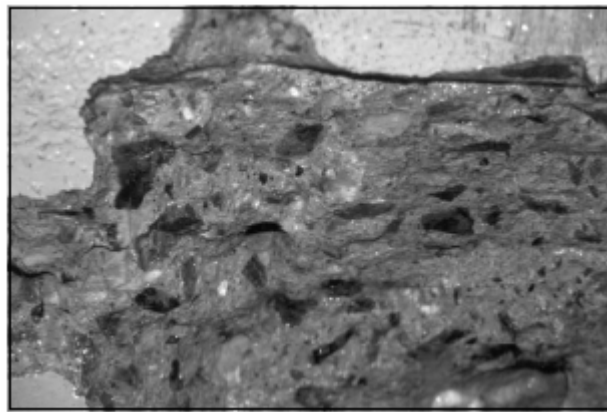
El medidor nuclear de humedad estima el contenido de humedad del concreto endurecido, mediante el bombardeo de neutrones.

Es en ocasiones innecesario usar estos métodos en la fase preliminar pero se recomiendan cuando no es muy clara la situación de la estructura.

Exploración

Durante la inspección preliminar, es probable que también se requiera alguna exploración de la estructura, mediante la remoción de algunas porciones superficiales del concreto, de trozos de descascaramientos o desmoronamientos, partículas de polvo, capas de cultivos biológicos (biocapa), productos de lixiviación, cristalización, reacciones deletéreas o corrosión ⁴⁶.

FIGURA 110. REMOCION DE PARTICULAS BLANDAS DE CONCRETO.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁴⁶.

8.3.6 Inspección y descripción de los daños

La evaluación de los daños normalmente incluye la revisión de condiciones generales de inclinación o estabilidad de la estructura, de los elementos estructurales, de los elementos no estructurales, riesgos geotécnicos y otros peligros como derrame de sustancias peligrosas, entre otros. Para fines de este proyecto, y teniendo en cuenta que se está analizando edificaciones urbanas como casas y edificios principalmente; solo se tendrá en cuenta condiciones con elementos estructurales y no estructurales.

Formulario:

Estado de la Edificación

Revisar la edificación para las condiciones señaladas a continuación de acuerdo al grado: Ninguno / Leve (N/L), Moderado (M), Severo (S).

Por ejemplo para Muros Estructurales, se definiría de la siguiente manera:

- Leve: Fisuras pequeñas sobre la superficie del muro (grietas con anchos menores a 1 mm.) y/o grietas mínimas en los elementos de confinamiento.
- Moderado: Inicio y/o formación de agrietamiento diagonal en los muros.
- Severo: Desprendimiento de partes de piezas, aplastamiento local de la mampostería, deformación, inclinación horizontal o vertical apreciable del muro, prolongación del agrietamiento diagonal a las columnetas o vigas de amarre.

Las aclaraciones necesarias sobre los grados en que se ubican los daños se hacen en la sección de comentarios.

 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL			
METODOLOGIA DE EVALUACION EN PATOLOGIA ESTRUCTURAL R & L INVESTIGACION PRELIMINAR			
FORMULARIO 2			
	Leve	Moderado	Severo
1. Daños Estructurales			
Columnas:	_____	_____	_____
Vigas:	_____	_____	_____
Muros Estructurales:	_____	_____	_____
Existe Colapso			

No:	_____		
Parcial:	_____		
Total:	_____		
Edificación separada de su cimentación o falta de ésta:	_____	_____	_____
Falta o hundimiento de la cimentación:	_____	_____	_____
Inclinación de la Edificación o desplazamiento de entrepiso			
Si:	_____		
No:	_____		
No se puede determinar:	_____		
Inclinación de la Placa:	_____	_____	_____
2. Daño en Elementos Arquitectónicos			
Muros no Estructurales:	_____	_____	_____
Escaleras:	_____	_____	_____
Grietas en el Terreno:	_____	_____	_____
Fachada, antepechos u otros elementos en peligro de caer:	_____	_____	_____
Especifique:	_____		
Daños en cubierta:	_____	_____	_____
Problemas de suelos			
Asentamientos:	_____		
Deslizamientos:	_____		
Otros:	_____		
Otros peligros (Derrames Toxícos, Líneas rotas, Etc)			
Especifique:	_____		

% de Daño de la Edificación

Estimar el % del área afectada con relación al total de la edificación, para cada grado de clasificación:

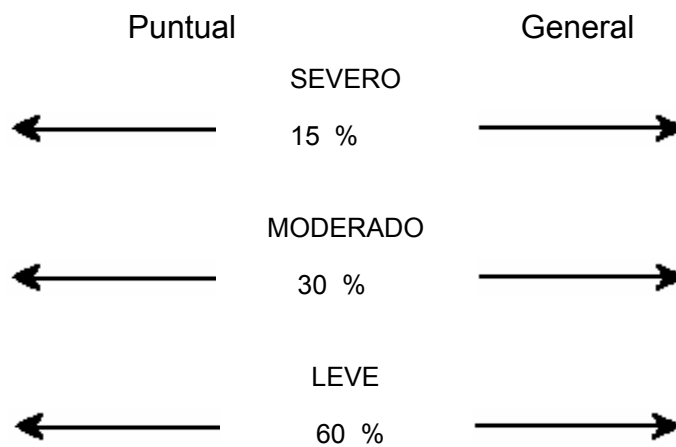
	Leve	Moderado	Severo
Elementos Estructurales	%	%	%
Elementos No Estructurales	%	%	%

Comentarios: _____

8.3.7 Criterios para la clasificación del daño

Una vez determinada la severidad del daño para los elementos se debe evaluar el porcentaje de elementos arquitectónicos o estructurales afectados con ese nivel de daño, para determinar la extensión del daño y poder clasificarla como Puntual o General. Para que el daño se clasifique como general se pueden tener tres opciones: Más del 15 % de elementos con daños severos, o más de 30 % de elementos con daño moderado o más de un 60 % de elementos con daño leve. Este criterio se aplica tanto para los elementos estructurales, como para los elementos arquitectónicos.

FIGURA 111. CRITERIO PARA DEFINIR SI UN DAÑO ES PUNTUAL O GENERAL, TENIENDO EN CUENTA LA SEVERIDAD DE LOS DAÑOS Y EL PORCENTAJE DE ELEMENTOS AFECTADOS.



De acuerdo a la puntualidad o generalidad de los daños en elementos estructurales y no estructurales se asigna un nivel de afectación global de la edificación.

TABLA 3. CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DEL NIVEL DE AFECTACIÓN.

Evaluación de Daños				Clasificación Global de la Edificación
No Estructurales		Estructurales		
General	Puntual	General	Puntual	
				Habitable
	X			Habitable
X				Uso Restringido
	X		X	Uso Restringido
X			X	Uso Restringido
	X	X		No habitable
X		X		Peligro de Colapso

8.3.8 Categorías para la Clasificación Global de la Edificación

Habitable (Verde):

- Inmuebles que no evidencian ningún tipo de daños.
- Inmuebles que sufren daños leves o daños moderados muy puntuales en los elementos arquitectónicos (en menor de un 30% de los elementos), que no ponen en peligro a los habitantes o a la estructura.
- No ofrecen peligro para la integridad de las personas que la ocupan y pueden ser utilizadas inmediatamente. No significa que no sean necesarias posteriormente algunas reparaciones en acabados y elementos arquitectónicos.

Uso restringido (amarillo).

- El sistema resistente a cargas verticales o laterales no presenta reducción en su capacidad y no existe inestabilidad potencial, daños leves a moderados puntuales (en un porcentaje menor al 30%) en los elementos estructurales.
- No existe evidencia de daños importantes en la cimentación o asentamientos del terreno.
- Las escaleras y salidas principales son accesibles y se encuentran en servicio.
- Hay peligro puntual de falla o caída de objetos, daños severos en menos de un 30% de los elementos arquitectónicos, pero no ponen en peligro la estabilidad de la estructura.
- No existen claramente condiciones que hagan la ocupación de la edificación insegura, pero el daño observado impide que se tenga una ocupación total y debe ser restringido el acceso a algunos sectores, cuya ocupación puede estar condicionada al retiro o reparación de aquellos elementos que ofrezcan peligro de caer.

No habitable (naranja):

- Disminución significativa de la capacidad para resistir cargas verticales o laterales.
- Edificaciones que sufren daños generalizados en sus elementos arquitectónicos y estructurales (Daños moderados en más de un 30% de los elementos estructurales o daños moderados a severos en más de un 60% de los elementos arquitectónicos).
- Existe un riesgo asociado a la entrada, uso u ocupación del edificio, debido a la disminución de su capacidad sismorresistente,

por la extensión de los daños o por la presencia de elementos en peligro de caer en las salidas principales y escaleras.


- El acceso a la edificación debe ser controlado y no se puede usar antes de ser reforzada. Hay que evaluar la necesidad de apuntalar la edificación.

Peligro de Colapso (rojo):

- Cuando existen fallas severas en las estructuras de cimentación y existen problemas de hundimiento o asentamiento del edificio.
- Cuando más del 15% de los elementos estructurales verticales (columnas) en sistemas estructurales a base de pórticos resistentes a momentos o en sistemas a base de muros estructurales, presentan fallas que les reportan daños permanentes (Nivel de daño peligro de colapso) y el sistema de piso que se apoya en estos elementos verticales presenta asentamientos o deformaciones verticales cercanas a un estado de desplome, la estructura no tendrá resistencia suficiente ante fuerzas laterales. También en algunos casos en que el nivel de daño en columnas y muros estructurales reporte deformaciones permanentes en los mismos, hará pensar que la capacidad de estos elementos para soportar el sistema de piso está seriamente afectada.
- La edificación no es segura y presenta peligro de colapso. Hay que evacuar totalmente, el acceso debe estar prohibido y es necesario proteger la calle y los edificios vecinos, apuntalar o demoler el edificio en forma urgente. En el caso de edificios aislados o con construcciones cercanas con la misma clasificación, la decisión de demolición debe tomarse luego de una evaluación desde el punto de vista económico del costo de su reparación y reforzamiento.

Ejemplo:

Para finalizar la investigación preliminar se plantea la elaboración de una hoja de cálculo a la cual se le darán valores de % de daños, donde se tienen en cuenta desde las características de la edificación, pasando por una evaluación de los daños, para formular finalmente un formato, donde se especifica un criterio de habitabilidad de la misma.

		Leve	Moderado	Severo
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL METODOLOGIA DE EVALUACION EN PATOLOGIA ESTRUCTURAL R & L INVESTIGACION PRELIMINAR				
FORMULARIO 2				
1. Daños Estructurales				
Columnas:		20	0	0
Vigas:		50	10	0
Muros Estructurales:		10	30	0
Existe Colapso				
	No: _____			
	Parcial: _____			
	Total: _____			
Edificación separada de su cimentación o falta de ésta:		_____	_____	_____
Falta o hundimiento de la cimentación:		0	0	0
Inclinación de la Edificación o desplazamiento de entrepiso				
	Si: _____			
	No: _____			
No se puede determinar: _____				
Inclinación de la Placa:		0	0	0
2. Daño en Elementos Arquitectónicos				
Muros no Estructurales:		20	25	15

Escaleras:		15	15	40
Grietas en el Terreno:		5	40	25
Fachada, antepechos u otros elementos en peligro de caer:		_____	_____	_____
Especifique:	_____			
Daños en cubierta:		15	30	30
Problemas de suelos				
Asentamientos:	_____			
Deslizamientos:	_____			
Otros:	_____			
Otros peligros (Derrames Toxícos, Líneas rotas, Etc)				
Especifique:				

Para la realización del siguiente formato, hay que tener en cuenta que para cada % de daño se le asigna un factor de ponderación, con el fin de resaltar la importancia en el comportamiento de unos sobre otros, como los que se muestran a continuación:

Elemento	Col.	Vig.	Mur.	Cim.	Pla.	Muro No E.	Esc.	Terre.	Cub.
Factores de Pond.	0.25	0.20	0.15	0.20	0.10	0.20	0.10	0.50	0.20



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

**FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**METODOLOGIA DE EVALUACION EN PATOLOGIA ESTRUCTURAL R & L
INVESTIGACION PRELIMINAR**

FORMULARIO 3

%DE DAÑO EN LA EDIFICACION

	Leve %	Moderado %	Severo %
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	18,33333333	7,22222222	0
ELEMENTOS ARQUITECTONICOS	11	32,5	25,5

Comentarios

TIPO DE DAÑO

ELEMENTOS ESTRUCTURALES	PUNTUAL
ELEMENTOS ARQUITECTONICOS	GENERAL

CLASIFICACION GLOBAL DE LA EDIFICACION

USO RESTRINGIDO

8.3.9 Recomendaciones y Medida de Seguridad

Normalmente todas las evaluaciones consideran la posibilidad de que se requieran otros estudios más detallados o especializados, se establecen unas medidas de seguridad y se deja un espacio de comentarios para ampliar los criterios de clasificación o las recomendaciones.

Medidas de Seguridad:

Cerrar calle a: Tráfico Vehicular _____ Paso a Peatones _____
Cerrar carrera a: Tráfico Vehicular _____ Paso a Peatones _____
Apuntalar: _____
Colocar Barreras: _____
Evacuar Parcialmente la edificación: _____
Evacuar Totalmente la edificación: _____
Otra Medida: _____

Recomendaciones:

No se requiere ninguna revisión futura: _____
Se necesita visita especializada: Estructural _____ Geotécnica _____
Servicios Públicos _____ Otros _____
Es necesaria evaluación detallada: _____
Intervención de las Autoridades:
Planeación – Control Físico _____ Policía – Ejercito _____
Bomberos – Entidad de Rescate _____ Transito _____

Comentarios: _____

Inspectores: _____

Fecha de Inspección: _____

8.3.10 Evaluación

Resultados:

Los resultados de la investigación preliminar deben ser resumidos en un informe que incluirá un chequeo de la capacidad de la estructura, viabilidad del proyecto, identificación de problemas estructurales, requisitos, y necesidades de una investigación adicional.

8.3.11 Informe final

En este paso se debe especificar el daño, los posibles procesos de rehabilitación los costos de cada uno y si se puede evaluar el proceso que se utilizara.

Si es necesario se puede hacer el análisis por piso para ser mas detallado, así mismo como la revisión de cada elemento. Según la situación que se presente (fisuras, desplazamientos, fallas, deterioro, etc.). Es responsabilidad del ingeniero determinar si la estructura presenta un deterioro severo, que pueda poner en peligro a los ocupantes de la estructura; dar aviso al dueño para que se desocupe la estructura durante su análisis y reparación.

8.4 Investigación Detallada

Esta se realiza una vez se termina la fase preliminar, y esto se acuerda de conformidad del dueño con previo aprobación de los costos de la investigación detallada. Este estudio se compone de los siguientes puntos:

- Objetivo de la Evaluación.
- Profesionales y tiempo de evaluación requerida.
- Documentación.
- Observaciones del campo y encuesta sobre las condiciones actuales.
- Muestreo y pruebas del material.
- Inspección y descripción de los daños.
- Criterios para la clasificación del daño.
- Categorías de calificación global de la edificación.
- Recomendaciones y Medidas de Seguridad.
- Evaluación.
- Informe final.

Los resultados de esta investigación son determinantes en la evaluación de los resultados finales, asimismo en la escogencia del método de rehabilitación y sus costos asociados. Por estas razones se requiere de especial cuidado en el planeamiento y ejecución del mismo según lo planteado en el ACI - 364.1 R-94. (Reaprobada en 1999) ³⁸.

8.4.1 Objetivo de la Evaluación

Generalmente este procedimiento tiene como objetivo evaluar de manera detallada los daños estructurales y no estructurales, con el criterio de personas con más experiencia para obtener con una aproximación razonable una noción sobre la seguridad de las edificaciones. Normalmente para aquellos métodos que cuentan con 2 formularios, este tipo de evaluación se aplica para aquellas edificaciones clasificadas con condiciones de seguridad dudosa o insegura en la evaluación rápida. Hace parte de éste objetivo, revisar aquellas edificaciones con mayores problemas y determinar su estado global de daño para saber si están en capacidad de tener un uso normal o si la entrada debe ser restringida o prohibida. Se debe realizar una vez haya terminado la evaluación preliminar.

8.4.2 Profesionales y tiempo de evaluación requerida

Las evaluaciones detalladas o estructurales están diseñadas para ser realizadas por inspectores con experiencia en diseño estructural y en el comportamiento de las edificaciones y por su nivel de complejidad y completitud toman más tiempo para su realización que las evaluaciones rápidas.

Se requieren 3 Ingenieros civiles en el que uno debe ser especialista o con amplia experiencia en estructuras. Cada edificación evaluada puede tomar entre 1 y 4 horas, dependiendo de las condiciones en que se encuentre ésta.

8.4.3 Documentación

Con el objeto de completar la información obtenida en la investigación preliminar (revisión del proyecto original), es conveniente obtener y revisar

todos los documentos adicionales que estén relacionados con la estructura. Esta información incluye: Información de materiales, información de la etapa de construcción, e historial de la estructura.

Información en Estructuras de Edificios Históricos:

Al trabajar en las estructuras históricas, es importante relacionar el sistema estructural usado en el proyecto con las prácticas de diseño que existen a la hora de la construcción. Afortunadamente, en cuanto más viejos sean las edificaciones suele contarse con mayor información. Antiguamente había muchos sistemas de refuerzo, incluyendo deformaciones de la barra de refuerzo, patrones que fueron protegidos por patentes. Muchos de estos sistemas fueron ilustrados en catálogos. No solamente eran los cálculos del diseño presentados a menudo en forma tabular, las cuales fueron validadas mediante ensayos de laboratorio y los resultados de las pruebas incluidas en catálogos. Libros y manuales también incluyen mucha de esta información y es especialmente provechosa. Los recortes del periódico y las viejas fotografías pueden ser provechosos durante el proceso para la preservación de estructuras históricas como se indica en las normas FEMA – 273 ¹⁰.

Cuando se trate de una preservación o una restauración (por ejemplo, monumentos, edificaciones y estructuras con valor histórico o de conservación arquitectónica), es indispensable determinar si su rehabilitación está cobijada por leyes y restricciones municipales, departamentales o nacionales.

Información de la historia de la Edificación:

Una fuente importante de información, son las entrevistas con personas que hayan vivido las diferentes etapas y sucesos que haya tenido la estructura durante su vida de servicio. Sobre todo, para documentar la cronología de los daños. También, sobre todo en instalaciones industriales u otras, es muy importante tener entrevistas con personal de operación y mantenimiento.

Además, si la estructura ha tenido intervenciones previas es conveniente obtener documentación sobre la manera y la época en que éstas se adelantaron. También algunos documentos que pueden ser de utilidad son los siguientes:

- Archivos de propietarios, administradores, usuarios y/o compañías de seguros pasados y actuales.
- Archivos de mantenimientos rutinarios, reparaciones, remodelaciones, modificaciones o adiciones.
- Archivos de propietarios de predios vecinos.
- Registros de tradición y libertad del predio, obtenidos de las oficinas de instrumentos públicos.
- Reportes del clima y eventos geológicos, geotécnicos, sismos, huracanes, etc.
- Registros fotográficos o filmicos de eventos y sucesos normales (registros históricos) o fortuitos (fuego, explosiones, sobrecargas, viento, sismos, etc.) ⁴⁶.

Información del diseño estructural:

Antes de la información concerniente a la estructura ya obtenida en la investigación preliminar, es conveniente obtener la siguiente información complementaria:

- Dibujos del estudio, especificaciones, y cálculos.
- Dibujos de los ensambles y tipo de acero.
- Dibujos de la colocación del refuerzo en el concreto.
- Planes de alteración, adiciones, y órdenes de cambio que haya tenido la estructura durante su vida útil de servicio.
- Dibujos de construcción, fotografías, expedientes del trabajo de campo, y correspondencia.
- Copia de los Códigos y normas vigentes durante el diseño y la construcción.
- Información técnica del fabricante, descripciones de los materiales de construcción, de las patentes, y de los datos de ensayos.
- Estudios de durabilidad, vulnerabilidad, o patología que previamente se hayan realizado.
- Las entrevistas con personas que hayan participado en la fase de diseño, son de gran utilidad para ahorrar tiempo y dinero. También, es útil visitar las oficinas públicas que otorgan licencias y/o registros de construcciones.

Los planos se pueden obtener del dueño, el arquitecto o ingeniero, departamentos de planeación, curadurías o reguladores locales, agencias para la subdivisión política en la cual se localiza la estructura, el contratista general, los subcontratistas, y los fabricantes.

El montaje de toda esta información puede costar tiempo pero es extremadamente importante para un acertado proyecto de evaluación de daños.

Información de Materiales:

Dado que la normativa vigente en el país (NSR – 98), exige el registro de calidad de los materiales utilizados en las construcciones, también se

debe solicitar la siguiente información, la cual puede ser obtenida del propio contratista o de los proveedores. Esta información debe ser buscada y con más facilidad se encuentra si la estructura es nueva:

- Componentes, proporciones, y resultados de las pruebas del concreto.
- Registros de control de calidad del concreto.
- Tipo y duración de las condiciones de curado.
- Informes de pruebas del proveedor del cemento y del acero de refuerzo.
- Diseño y dosificación de mezclas.
- Especificaciones materiales y dibujos, incluyendo la forma de colocación en la obra original.

Información de la Construcción:

Para obtener información sobre los procedimientos constructivos, el avance de la programación de obra, los eventos de excepción o las contingencias (que suelen suceder en todas las obras), las condiciones de protección y curado de la estructura, y la puesta en servicio de la misma, es conveniente adelantar una entrevista con personas que hayan intervenido durante esta fase del proyecto. Ello, también ahorra mucho tiempo y dinero. En algunas ocasiones se puede contar con escritos acerca del proceso constructivo los cuales son muy valiosos para detectar posibles problemas en la construcción, a continuación se presentan los expedientes que deben ser buscados:

- Correspondencia entre los miembros de la construcción el equipo de diseño, y el dueño.
- Resultados de pruebas en el concreto fresco y endurecido.

- Informes de la inspección de los datos y del control de calidad en campo.
- Bitácora de la obra y correspondencia durante la construcción.
- Fotografías y registros fílmicos del progreso del trabajo.
- Dibujos de la construcción.
- Notas y expedientes de evaluación.
- Informes archivados por los inspectores de edificio.
- Dibujos y especificaciones guardadas en el trabajo, incluyendo modificaciones y órdenes de cambio.
- Informes de prueba de materiales para todos los materiales estructurales usados.
- Información referente la fundación y a la capacidad del suelo, incluyendo los informes del suelo preparados antes de la construcción; presiones permisibles del suelo utilizado en el diseño; y trabajo del suelo y de la fundación, incluyendo rellenos y compactación durante la construcción ⁴⁶.

Información del Servicio:

Esta información se usa para determinar los cambios y procesos ocurridos durante la vida útil de la estructura y determinar si la estructura ya le fue realizada alguna rehabilitación o cambios en las cargas de servicio, entre estos documentos se recomiendan:

- Expedientes de dueños actuales y anteriores, o de usuarios de la estructura, sus representantes legales, y sus aseguradores.
- Mantenimiento, reparación, y expedientes de remodelación.
- Informes mantenidos por los dueños de estructuras adyacentes.
- Expedientes del tiempo.
- Entrevistas con personal de operación y de mantenimiento.
- Registros de la actividad sísmica, de la actividad geológica, etc.

- Informes del seguro y expedientes del daño a la estructura por el fuego, viento, nieve, sobrecargas, terremoto, fatiga, etc.
- Información sobre la operación, ocupación, casos de el sobrecargar, y límites de carga.
- Expedientes del gobierno o de los departamentos locales de construcción.
- Fotografías.
- Periódicos locales y publicaciones comerciales.

Registro de la información:

Toda esta información recopilada de los pasos anteriores, debe ser debidamente obtenida, registrada, clasificada y archivada, con una copia al dueño; para su consulta y ponerla a disposición de quien vaya a adelantar la rehabilitación; según lo planteado en el ACI - 364.1 R-94. (Reaprobada en 1999) ³⁸.

8.4.4 Observaciones del campo y encuesta sobre las condiciones actuales

Una vez recopilado y analizado la informaron de la documentación se procede a realizar observaciones de campo con el fin de conocer las condiciones actuales de la estructura, y a la vez tener un contacto directo con ésta, para así empezar a visualizar posibles patologías y tener un criterio más definido en el momento de la toma de decisiones en el transcurso del proceso.

La inspección visual directa proporciona la información más valiosa, pues puede ser utilizada para identificar rápidamente cualquier anomalía, basada en la configuración, y permite tomar la medida de las dimensiones

de los componentes, y la determinación si la degradación está presente. La continuidad de las trayectorias de la carga se puede establecer con la visión de las componentes y de la condición de la conexión.

De la inspección visual dependerá, la necesidad de otros métodos de prueba para cuantificar la presencia y el grado de degradación que se puede establecer. Las dimensiones de componentes primarios accesibles deben ser medidas y comparadas con la información disponible del diseño.

Similarmente, en la configuración y la condición de todas las conexiones (con superficies expuestas) se verificarán deformaciones permanentes u otras anomalías conocidas. Como mínimo, un muestreo representativo de por lo menos el 20 % de los elementos, los componentes, y las conexiones serán examinados visualmente en cada nivel del piso.

Si se encuentran los daños o la degradación significativa, la muestra a estudiar será aumentada a todos los componentes críticos de similar mecanografía dentro del edificio.

Si existen las cubiertas u otras obstrucciones, la inspección visual indirecta con la obstrucción puede ser conducida usando agujeros perforados y un fiberscope. Si este método no es apropiado, la exposición será el procedimiento necesario. La exposición se define como retiro reducido al mínimo de la cubierta de concreto y otros materiales para permitir la inspección de los detalles del sistema.

Las siguientes guías serán utilizadas para determinar conexiones primarias en el edificio:

- Si existen los dibujos de estudios detallados, la exposición por lo menos de tres diversas conexiones primarias ocurrirá, con la

muestra de la conexión incluyendo diversos tipos (Por ejemplo, viga-columna, columna-fundación, diafragma de la viga). Si no existen desviaciones de los dibujos, la muestra se puede considerar representante de las condiciones instaladas. Si se observan las desviaciones, después es necesaria la exposición de por lo menos el 25% del tipo de conexión específico para identificar el grado de la desviación.

- En ausencia de dibujos exactos, la exposición por lo menos de tres conexiones de cada tipo de conexión primaria ocurrirá para la inspección. Si el detallado común se observa, esta muestra se puede considerar representativa. Si diversos detalles de desviaciones se observan, se autoriza el aumento de la inspección en la conexión hasta que una comprensión exacta de la construcción de edificios y su comportamiento se haya logrado como se indica en la norma FEMA–273 ¹⁰.

Para la realización de las observaciones de campo es indispensable llevar a cabo el siguiente proceso, el cual se divide en las siguientes etapas:

- Preparación y planeamiento.
- Verificación de la construcción.
- Evaluación de las condiciones de la estructura.

Cada una de estas etapas se puede modificar dependiendo del tipo, tamaño, complejidad, edad, peso, el uso futuro, y la naturaleza total de un proyecto en particular.

Preparación y planeamiento

Antes de iniciar cualquier actividad relativa al examen de la estructura, es conveniente hacer una visita de reconocimiento al lugar de la construcción y se recomienda hacer un registro fotográfico o filmico de esta actividad, para definir los siguientes aspectos:

- Los recursos humanos (personal, entrenamiento, cursos de seguridad industrial, etc.) y físicos que se requieren (equipo normal o especializado).
- Determinación de la necesidad de servicios especializados (topografía y nivelación, batimetría, grúas extensibles, inspección sumergida mediante buzos, servicios especializados de laboratorio de materiales, etc.).
- El período de tiempo en el cual se puede realizar la inspección, con mínima interrupción.
- Requerimientos de permisos y/o documentos especiales (registros de ARP, EPS, etc.).
- Necesidad de evacuar y cerrar la estructura durante el examen.
- Tipo de equipo que se requiere para acceder a la estructura (andamios, arneses, equipo de seguridad, etc.).
- Disponibilidad de agua, energía, etc.
- Remoción de acabados, instalaciones, muebles, etc.

Para esta etapa se debe repasar y analizar muy bien la información que se recopiló en las etapas de investigación con el fin de determinar los aspectos más importantes a tener en cuenta durante la visita de campo y además con el fin de tomar datos faltantes, también se debe planear la forma en como se va a tomar esta información en el campo (fotografías, videos, archivos escritos u orales, etc.), en la observación de campo se debe plantear la forma de acceso y de trabajo de la maquinaria o herramientas que se no se pueden usar por condiciones de ubicación y espacio de la estructura.

Inspección y Verificación de la construcción

En primera instancia, debe medirse la geometría (secciones transversales y longitudinales) y ubicarse la disposición de los diferentes elementos (especialmente los más críticos). De igual modo, deben revisarse (las de la inspección preliminar) o identificarse y registrarse todas las anomalías, defectos y fallas que muestre la estructura (por ejemplo, delaminaciones, fisuras, pérdidas de sección, etc.). Es muy importante también, que haya necesidad de practicar algunas mediciones, auscultaciones y/o exploraciones adicionales, a las que se realizaron en la inspección preliminar. Lo anterior, es de extrema importancia para definir los sitios de toma de muestras para realizar ensayos de caracterización de fenómenos (por ejemplo, profundidad de fisuras) y materiales (aceros, concretos, cables, elementos embebidos, etc.).

FIGURA 112. GEOMETRÍA DE LAS SECCIONES Y CUANTÍA DEL REFUERZO.





Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.


Durante la inspección de verificación, deben establecerse las cargas existentes y actuales sobre la estructura. Por ejemplo, deben verificarse las cargas muertas actuales y futuras, las cargas impuestas según el uso normal, de excepción (condiciones particulares) y propuesto en el futuro de la estructura; de igual modo, debe establecerse la exigencia de acuerdo con la zonas de riesgo estipulada por la NSR-98; o si existen otro tipo de solicitaciones de carga de viento.

FIGURA 113. RECORRIDO E INSPECCION DE UNA ESTRUCTURA.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁴⁶.

Para la identificación de la edificación se utilizan diferentes criterios como la dirección y la identificación predial; para la descripción de parámetros como el número de pisos, el uso, la edad y el área de la edificación o de su base; para la clasificación del tipo de edificación, el sistema y material de la estructura, del tipo de cubierta y del tipo de cimentación, la configuración y otras condiciones Pre - Existentes de la edificación.

 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	
METODOLOGIA DE EVALUACION EN PATOLOGIA ESTRUCTURAL R & L INVESTIGACION DETALLADA	
FORMULARIO 1	
Identificación de la Edificación	
Dirección	Carrera: _____ Calle: _____ Transversal: _____ Diagonal: _____
	Avenida: _____ Otro: _____ Número: _____
Nombre del Edificio: _____ Barrio o Corregimiento: _____	
Observaciones en la Localización: _____	
<hr/>	
Uso Predominante	
Residencial: _____	Comercial: _____
Salud: _____	Hotelero: _____
Industrial: _____	Institucional: _____
Estacionamientos: _____	Educacional: _____
Bodegas: _____	Oficinas: _____
Otros: _____	
De la Edificación: _____ De la Planta Baja: _____	
Número de Pisos _____	

Niveles sobre el Terreno:	_____	Sótanos:	_____
Total:	_____		
Dimensiones Aproximadas de la Edificación			
Frente (mt):	_____	Fondo (mt):	_____
Area de la Base de la Edificación:	_____		
Descripción de la Estructura			
<i>Sistema Estructural</i>			
Concreto Reforzado		Mamposteria	
Pórtico de Concreto:	_____	Confinada:	_____
Pantallas de Concreto:	_____	Realizada:	_____
Prefabricados:	_____	Simple:	_____
Muros Estructurales:	_____	Reforzada:	_____
		No	
Estructura Mixta:	_____	Reforzada:	_____
Bahareque o Tapia		Acero	
Muros en Bahareque:	_____	Pórticos Arriostrados:	_____
Muros en Tapia:	_____	Pórticos No Arriostrados:	_____
Madera		Mixta	
Pórtico y Panel de Madera:	_____	Combinación de dos	
Pórticos en madera		o más sistemas:	_____
y Paneles en otro material:	_____		
Otros:	_____		
<i>Material de Cubierta</i>			
Placa de Concreto:	_____		
Teja de Barro:	_____		
Asbesto Cemento:	_____		
Lámina de Zinc:	_____		
Otro:	_____		
<i>Tipo de Placa de Entrepiso</i>			
Concreto Reforzado:	_____	Placa Maciza:	_____
		Placa Aligerada:	_____
		Reticular Cedulado:	_____
Acero:	_____	Lamina Colaborante:	_____
		Vigas:	_____
		Cerchas:	_____
Madera:	_____	Vigas:	_____
		Mixta:	_____

Otro: _____

<i>Tipo de Cimentación</i>		<i>Año de Construcción</i>	
Zapatatas:	_____	Antes de 1929:	_____
Pilotes:	_____	1930 a 1959:	_____
Losa Corrida:	_____	1960 a 1984:	_____
Caissons:	_____	1985 a 1997:	_____
		Después de 1998:	_____

Condiciones Pre-Existentes

Posición de la Edificación en la Manzana

Esquina: _____

Intermedia: _____

Libre por un Costado: _____

Libre por dos Costados: _____

<i>Configuración Estructural</i>		<i>Calidad de la Construcción</i>	
Buena:	_____	Buena:	_____
Regular:	_____	Regular:	_____
Mala:	_____	Mala:	_____

<i>Configuración en Altura</i>		<i>Configuración de la Planta</i>	
Buena:	_____	Buena:	_____
Regular:	_____	Regular:	_____
Mala:	_____	Mala:	_____

<i>Hay Indicios de daños por sismos anteriores</i>		<i>Hubo Reparación</i>	
Sí:	_____	Total:	_____
No:	_____	Parcial:	_____
		Ninguna:	_____

Efecto en los Ocupantes

Hubo muertos o heridos:

No: _____ Sí: _____ No se sabe: _____

Número de Personas fallecidas: _____

Número de heridos: _____

Ocupación de la Edificación

Identificación de la Ocupación

En el momento de realizar esta evaluación el edificio está habilitado:

Sí: _____ No: _____

Número de Predios Existentes:	_____
Número de Predios no Habitables o Inseguros:	_____
<i>Persona para Contacto</i>	
Nombre y Apellidos:	_____
Teléfono:	_____

Es importante resaltar en este momento dos factores muy importantes en el momento de la evaluación: Geometría y materiales estructurales; y las Cargas, ya que éstos nos muestran la situación real de los elementos que hacen parte del sistema estructural, siendo a la vez los portadores de los primeros indicios de posible presencia de patologías.

➤ *Geometría y materiales estructurales*

Se debe realizar medidas de las secciones de los elementos estructurales con el fin de compararlos con los planos y eliminar la posibilidad de errores en la construcción, pues esta puede ser la causa de pandeos, grietas y agujeros por sobrecargas en los elementos, con este fin se pueden utilizar métodos no destructivos como:

- Ultrasonidos.
- Instrumentos magnéticos.
- Radiografías.
- Pulsos ultrasónicos.

Con el fin de determinar:

- Tipo del daño.
- Longitud afectada.
- Espaciamiento entre refuerzo.
- Características del concreto.

- Corrosión del acero.

Estas mediciones se deben realizar en donde la documentación recopilada lo amerite o donde se considere necesario durante la visita de campo y en puntos al azar. Para mejorar la calidad del diagnóstico y aumentar la confiabilidad se debe determinar un número representativo de muestras. En algunas ocasiones es necesario realizar retiros de material para muestreo y ser reemplazada; lo cual se debe contratar y planear con tiempo y estratégicamente en las zonas de extracción de acuerdo a la información recopilada y con la aprobación del dueño, según lo establecido en el ACI – 02⁴⁵.

➤ *Cargas*

Se debe hacer una evaluación de las cargas de servicio en la actualidad de la estructura y verificar que coinciden con las de diseño, estas en varias ocasiones suelen cambiar.

Cargas muertas

Se determina:

- El cambio en las secciones de los elementos no estructurales.
- Densidad del concreto.
- Humedad de los materiales.
- Adición de elementos no estructurales.
- Cambio de la fachada.
- Colocación de muros divisorios no previstos en el diseño.

Cargas impuestas

Se debe tener en cuenta si durante la vida útil la estructura presenta cargas extras o si las cargas de viento y sísmicas han cambiado con respecto al tiempo en el que fue diseñada la estructura. En almacenes se debe verificar que las cargas de almacenaje y los materiales sean iguales a los previstos en el diseño pues esto puede deteriorar la estructura o sobrecargarla. Si la estructura esta expuesta a cargas de maquinaria como martillos, maquinas vibradoras, maquinaria pesada, prensas, maquinaria de impacto, etc.; se debe determinar para comparar con el diseño y tener estas cargas presentes en el análisis.

Evaluación de las condiciones de la estructura

Esta evaluación es indispensable y necesaria en el normal desarrollo del proceso de evaluación de daños ya que a través de una serie de equipos y aparatos tanto eléctricos como manuales, nos indican el nivel de desempeño en que se encuentran los diferentes elementos estructurales y arquitectónicos que hacen parte del estudio.

Algunos de las clases de daños, según su ubicación y según la magnitud de su gravedad son:

➤ *Daños visibles*

Se debe evaluar la severidad del daño, para este fin se depende de la experiencia del evaluador y de los criterios que la estructura requiera, ya que esto depende de las reglas impartidas según cada situación , a veces puede ser crítica determinada situación, en otras puede ser irrelevante , con el fin de realizar esta evaluación se plantea la siguiente calificación :

- Inseguro.
- Potencialmente peligroso.
- Severo.
- Moderado.
- De menor importancia.
- Buena condición.

➤ *Desviaciones visibles y deformaciones*

Deformaciones visibles deben ser registradas y comparadas con estructuras adyacentes. Para elementos verticales con valores superiores a $L / 250$ y para elementos horizontales con valores superiores a $L / 50$ las deformaciones se hacen visibles, y en ambos casos deben ser observadas y detalladas.

➤ *Cimentación*

Los movimientos, las inclinaciones, fisuras y las separaciones de la estructura y de elementos debido a asentamientos diferenciales deben ser medidos y observados. Antes de comenzar la investigación de campo en la fundación, los dibujos de estudios existentes de la fundación deben ser repasados para el tipo de fundaciones, tipos de suelos, diseño, terreno circundante, drenaje del sitio, y estructuras adyacentes.

La investigación de campo debe observar cualquier cambio, cualquier muestra de la erosión y del fregado, y la adición de estructuras en la vecindad. Si hay muestras de asentamientos diferenciales altos puede ser necesario realizar una investigación geotécnica más detallada para determinar completamente el impacto de las condiciones observadas.

➤ *Condiciones de inseguridad y daños severos*

Cuando durante el estudio se determine que la estructura representa un peligro se debe comunicar primero por escrito al dueño y a la oficina encargada del gobierno con el fin de tomar medidas de evacuación y apuntalamiento ⁴⁸.

8.4.5 Muestreo y pruebas de los materiales

Número mínimo de pruebas

El número mínimo de pruebas es dictado por los datos disponibles de la construcción original, el tipo de exactitud empleada, y de la condición de materiales sobre el terreno.

Un estudio de las condiciones existentes del edificio y del sitio será realizado como parte del proceso de evaluación de daños. Las metas de este estudio son:

- Examinar la condición física de componentes primarios y secundarios y la presencia de cualquier degradación producida por efectos ambientales (corrosión, daños de fuego, ataque químico, etc.) o por efectos de cargamento (sobrecarga, daños de últimos terremotos, fatiga, fractura, etc.).
- Verificar o determinar la presencia y la configuración de componentes y sus conexiones, y la continuidad de las trayectorias de la carga entre los componentes, elementos, y sistemas.

- Repasar otras condiciones - Tal como paredes de edificios vecinos en peligro de colapso, la presencia de componentes no estructurales, y limitaciones para la rehabilitación - que pueden influenciar en el funcionamiento del edificio.
- Formular una base para seleccionar un factor del conocimiento.

Para cuantificar las características sobre el terreno con precisión, es importante que un número mínimo de pruebas esté dirigido hacia los componentes primarios en el sistema de fuerza lateral que resiste. Según lo indicado previamente, el número mínimo de pruebas es dictado por los datos disponibles de la construcción original, el tipo de sistema estructural empleado, la exactitud empleada, la calidad y las condiciones de los materiales y procesos constructivos ya en la obra, según lo fijado en el ACI – 02 ⁴⁵.

Materiales en Concreto

El número mínimo de las pruebas para determinar fuerza compresiva y extensible también se conformará con los criterios siguientes:

- Para los elementos en concreto para los cuales se sabe la fuerza especificada del diseño y los resultados de la prueba no están disponibles, un mínimo de tres pruebas será realizado para cada nivel del piso, 400 yardas cúbicas de concreto, o 10.000 pies cuadrados del área superficial (la más pequeño estimada de los tres).
- Para los elementos en concreto para los cuales la fuerza del diseño es desconocida y los resultados de la prueba no están disponibles, un mínimo de seis pruebas será realizado para cada nivel del piso, 400 yardas cúbicas de concreto, o 10.000 pies cuadrados de área

superficial (el número más pequeño del uso). Donde los resultados indican que diversas clases del concreto fueron empleadas, el grado de prueba será aumentado para confirmar el uso de la clase.

- Un mínimo de tres muestras será quitado para partir la determinación de la fuerza extensible, si un concreto agregado ligero fue utilizado para los componentes primarios. Las pruebas adicionales pueden ser autorizadas, si el coeficiente de variación en resultados de la prueba excede del 14%, como se indica en las normas FEMA – 273 ¹⁰.

ENSAYOS EN EL CONCRETO

Ensayos Físicos:

Las pruebas que se realizan son las siguientes: Resistencia a compresión, Monitoreo de la Corrosión, Resistencia a tracción directa, Curva δ vs ϵ del Acero, Vibraciones Ambientales, Strainage, Capo Test, Pruebas Geotécnicas, entre otras. Una vez hechas estas pruebas, se pueden hallar éstas características: Porosidad, densidad, Absorción, Permeabilidad, Resistencia a la abrasión, Fisuramiento, y Humedad de Soporte.

FIGURA 114. VIBRACIONES AMBIENTALES, STRAINAGE, TOPOGRAFÍA.





Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

FIGURA 115. PRUEBAS GEOTECNICAS.





Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

Prueba de Compresión

Extracción de núcleos de concreto

Los núcleos de concreto para determinar la resistencia mecánica o el módulo de elasticidad, deben extraerse de acuerdo con la norma NTC 3658 (ASTM C 42), en una cantidad no inferior a tres por cada zona de la

estructura y el diámetro de cada núcleo debe ser por lo menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado presente en el concreto. La resistencia determinada, será el promedio de los tres valores obtenidos

46

FIGURA 116. EXTRACCIÓN DEL NÚCLEO.



Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

FIGURA 117. EJEMPLOS DE NÚCLEOS DE CONCRETO.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

Ensayo:

FIGURA 118. MUESTRA DE UN ENSAYO A COMPRESIÓN.



Fuente: Juan Carlos Reyes Ortiz ¹.

Resistencia a Compresión de los Núcleos

Resistencia a la compresión especificada: f'_c (MPa) = _____

Resistencia mínima por muestra: $0,75 f'_c$ (MPa) NSR-98 = _____

Promedio de núcleos (MPa) = _____

Promedio de Núcleos > Resistencia mínima por muestra

Cumple requisito de Resistencia = SI _____

NO _____

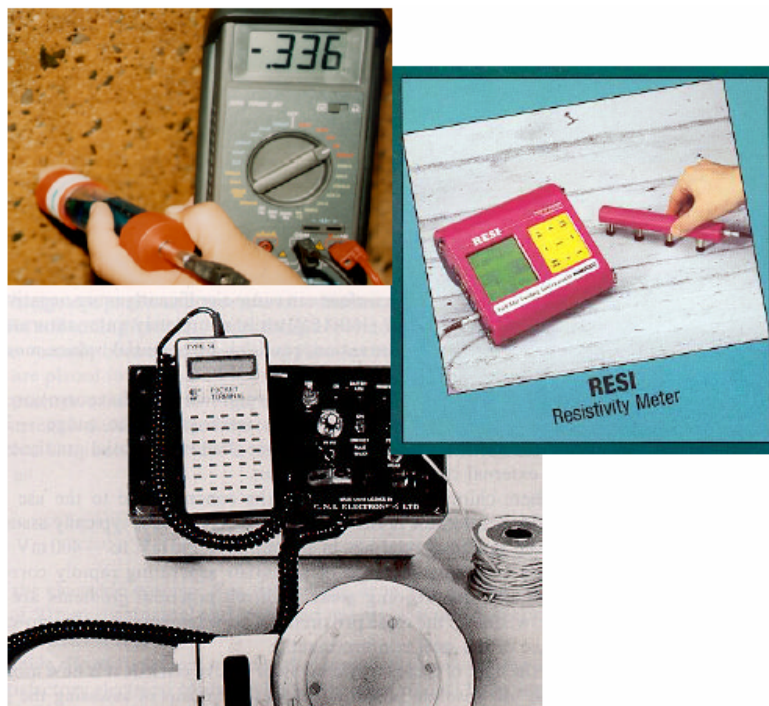
Cuando existe un bajo promedio de las resistencias alcanzadas por los núcleos de concreto, empleado en la definición de las propiedades del material (Concreto) dentro del programa computacional, puede ser ésta,

una de las razones por las cuales se obtienen grandes desplazamientos y la gran mayoría de elementos estructurales pueden presentar relaciones Demanda / Capacidad superiores a la unidad.

Monitoreo de la Corrosión

Entre los aparatos usados para observar el proceso de corrosión y los factores que en éste inciden, se encuentran: Potencial de Corrosión con la Media Celda de Cobre – Sulfato, Resistencia a la Polarización Lineal (GECOR – 6), Resistividad Eléctrica, Humedad del Concreto, Contenido de Cloruros. Para este estudio se hace más énfasis en la prueba de Media Celda por ser la más usada en nuestro medio.

FIGURA 119. EJEMPLOS DE APARATOS USADOS EN EL MONITOREO DE CORROSIÓN.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López ²⁰.

Prueba de corrosión (Media Celda)

FIGURA 120. EQUIPO DE MEDIA CELDA UTILIZADO PARA MEDIR POTENCIALES ELÉCTRICOS E IDENTIFICAR ZONAS DONDE LA CORROSIÓN ESTÁ PRESENTE.



Fuente: Harold Alberto Muñoz ¹¹.

Para localizar los puntos en la estructura donde existen problemas de corrosión del acero de refuerzo se usa un equipo denominado “Media Celda”. La Media Celda mide potenciales eléctricos relativos en la superficie de concreto con un electrodo de referencia estándar ubicados en un grid predeterminado. Tal diagnostico identifica áreas donde la corrosión se presenta o ha ocurrido un proceso (corrosivo) antes de algún cambio físico visible. Los resultados se presentan por medio de mapas equipotenciales.

FIGURA 121. PRUEBA DE CORROSIÓN REALIZADA EN UNA COLUMNA. TANTO LA SUPERFICIE DE CONCRETO COMO LA ESPONJA DE LA MEDIA CELDA DEBÍAN ESTAR PREVIAMENTE HÚMEDAS.



Fuente: Harold Alberto Muñoz ¹¹.

El barrido de los elementos estructurales además de ofrecer un indicativo de las áreas de acero, permite observar si el diseñador aplica o no aplica el concepto de confinamiento en la zona cercana a los nudos, lo que dificulta en el caso de no aplicarse la plastificación del material e indica que la estructura no tiene una buena capacidad de disipación de energía. Si se llegase a observar la no linealidad del refuerzo y la variación en el espesor de recubrimiento, posiblemente es ocasionada por el desplazamiento del castillo de acero durante el vaciado del concreto.

En cuanto a la prueba de corrosión que se realiza con el equipo de media celda, puede decirse por ejemplo, que de acuerdo con los potenciales que se pueden llegar a obtener en los diferentes elementos estructurales, el

porcentaje de variación del acero corrosivamente activo es del 95%, al encontrarse las lecturas en un rango de -350 a 500 Mv. Sin embargo, cabe aclarar que estos valores carecen de confiabilidad puesto que en ocasiones durante el ensayo de corrosión se observa que el valor medido del potencial de la media celda cambia o fluctúa con el tiempo, es decir, no se presenta la condición dada por el aparato. El procedimiento completo de la prueba de corrosión se encuentra explicado en el Ensayo ASTM C – 876 – 91 ⁴⁹.

Ensayos Químicos:

Los ensayos usados son: Extracción de Muestras de Polvo, Carbonatación, Medición de pH, Cuantía de cemento, Materia Orgánica, Cuantía de Cloruros, Cuantía de Sulfatos, Cuantía de Nitritos.

FIGURA 122. EJEMPLOS DE ENSAYOS QUIMICOS.



Fuente: Carlos Alberto Arcila López. Rehabilitación de Estructuras de Concreto Reforzado. 122p.

Extracción de Muestras de Polvo

Las muestras de polvo, para realizar ensayos químicos, deben ser extraídas mediante un taladro provisto de un recuperador de polvo, a las profundidades determinadas por quien esté adelantando la investigación.

FIGURA 123. EJEMPLO DE EXTRACCION DE MUESTRAS DE POLVO.



Fuente: Diego Sánchez de Guzmán ⁴⁵.

Prueba de carbonatación y medición del PH (Fenolftaleina y PH metro)

Las profundidades de carbonatación se pueden medir empleando la fenolftaleina como método cualitativo; mientras que el PH metro ofrece un valor real de PH que permite conocer si el concreto esta o no carbonatado, y además si es posible o no la corrosión del refuerzo.

Esta prueba se realiza en las columnas a las que se les extrae el núcleo (Previamente la superficie del agujero tuvo que ser golpeada con cincel) y en las perforaciones en las que se descubre el refuerzo para realizar la prueba de corrosión con la media celda.

FIGURA 124. LA PRUEBA CON LA FENOLFTALEINA SE REALIZA EN LAS COLUMNAS EN LAS QUE SE DESCUBRE EL ACERO. LA FOTOGRAFÍA MUESTRA UNA COLUMNA CUYA PROFUNDIDAD MÁXIMA DE CARBONATACIÓN ES DE 1.2CM.



Fuente: Harold Alberto Muñoz ¹¹.

Al realizar esta prueba se compara la máxima profundidad de carbonatación (cm.) con la profundidad a la cual está el recubrimiento (cm.) Si la máxima profundidad de carbonatación es mayor que la profundidad de recubrimiento el elemento presentará carbonatación total, es decir la fenolftaleína no cambia su color.

La observación de las secciones delgadas al microscopio y las pruebas de fenolftaleína y PH pueden evidenciar que la carbonatación en algunos elementos estructurales puede avanzar hasta el acero de refuerzo. Además de esta enfermedad, se podría identificar la reacción álcali / agregado de manera incipiente y aún no visible de manera externa en el concreto. La realización de la prueba de carbonatación se encuentra descrita en el Ensayo AASHTO T277 ²³.

Ensayos Microscópicos:

Los dos principales Ensayos que se realizan teniendo en cuenta este aspecto son: Análisis petrográfico del Concreto y Microscopia Electrónica de Contaminaciones y Microorganismos.

Estudio Petrográfico

FIGURA 125. BLOQUES PULIDOS OBTENIDOS A PARTIR DE LOS NÚCLEOS.

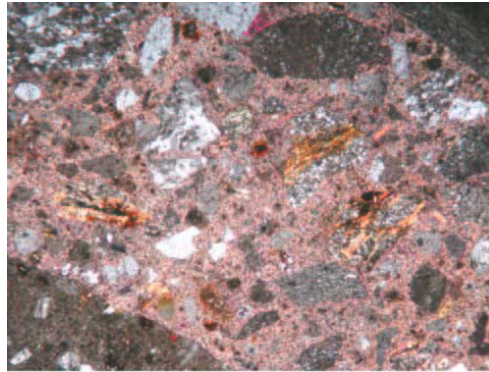


Fuente: Harold Alberto Muñoz ¹¹.

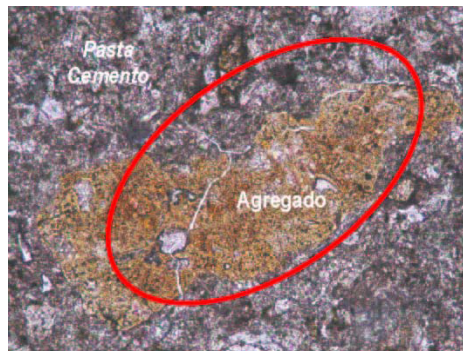
Los bloques pulidos y las secciones delgadas se utilizan para el estudio petrográfico. Los bloques pulidos, se impregnan con una resina epóxica, permitiendo cuantificar los componentes presentes en el concreto.

Las secciones delgadas observadas en el microscopio petrográfico permiten identificar las principales texturas en los agregados e identificar enfermedades del concreto como la carbonatación y la reacción álcali-agregado.

FIGURA 126. ENFERMEDADES DEL CONCRETO OBSERVADAS EN LAS SECCIONES DELGADAS. LAS FOTOS EVIDENCIAN LA PASTA DE CEMENTO CARBONATADA Y LA REACCIÓN ÁLCALI - AGREGADO.



Largo y ancho de la foto: 0.75 mm x 0.5 mm



Largo y Ancho de la foto: 5.25 mm x 4 mm

Fuente: Harold Alberto Muñoz ¹¹.

El estudio petrográfico puede evidenciar la mala calidad del concreto y las causas de las bajas resistencias alcanzadas por los núcleos de concreto, al presentar un alto porcentaje de agregados con orientación preferencial, es decir con zonas de debilidad, con predominio de agregados redondeados, sub-redondeados y con esfericidad baja, con sobre tamaños y deficiente gradación. Además, se puede observar vacíos de aire y agua, y altos porcentajes de pasta con microporosidad, como consecuencia de falta de compactación, mezclado y relaciones de

cemento excesivamente altas, según lo exigido en el Estándar Europeo: pr EN 1504 ⁵⁰.

8.4.6 Inspección y descripción de los daños

Esta evaluación incluye la revisión de condiciones peligrosas de la estructura en general, de los elementos estructurales, de los elementos no estructurales y riesgos geotécnicos.

Las definiciones de niveles de daño para elementos estructurales y no estructurales en concreto son:

Columnas, Vigas, y Placas:

- Leve: Fisuración perceptible a simple vista, con anchos menores de 1.0 mm sobre la superficie del concreto.
- Moderado: Agrietamiento notable del concreto, grietas con anchos superiores a 1.0 mm en la superficie del concreto, pérdida del recubrimiento y exposición de las barras de refuerzo longitudinal.
- Severo: Degradación y aplastamiento del concreto, agrietamiento del núcleo y pandeo de las barras de refuerzo longitudinal. Deformaciones e inclinaciones excesivas.

Muros Estructurales:

- Leve: No se presenta desplome, ni desmoronamiento, ausencia de fisuras o grietas de cualquier tipo, en el caso de existir siempre menores a 1 mm. No se presentan daños, o estos son despreciables.
- Moderado: Se presentan algunas deformaciones de muros en casi toda la estructura, grietas horizontales o verticales cercanas a los

vanos de puertas y ventanas menores a 4 mm, grietas diagonales — en forma de equis — menores a 2 mm.

- Severo: Presenta deformaciones permanentes. Difícil de restituir la estructura a su estado original, deformaciones permanentes importantes superiores a 1/10 de la altura relativa entre niveles consecutivos, pandeo perpendicular al plano con aparición de grietas de cualquier tipo, grietas horizontales o verticales cercanas a los vanos de puertas y ventanas mayores de 4 mm, grietas diagonales —en forma de equis— mayores de 2 mm, falla total de los muros.

Cimentación:

- Leve: No existen asentamientos diferenciales —no hay desnivel—, grietas en dos o cinco sitios, con 200 mm de longitud y 0.3 mm de abertura en la estructura de cimentación de la periferia. No se presenta daño, o este es despreciable.
- Moderado: Presencia de asentamientos diferenciales —se observa desnivel—, no hay falla o fractura, fallas parciales o desprendimiento de mortero en la cimentación de la periferia, desprendimiento y caída de algunas porciones de la cimentación, agrietamiento notable en el suelo de la vecindad, se observa pérdida de capacidad de soporte de cargas verticales en uno o dos sitios.
- Severo: Presencia de asentamientos diferenciales —se observa desnivel—, se observa falla o fractura, se observa deslizamiento o desplazamiento, se observa fenómeno de deslave, se observa fenómeno de volcamiento, la cimentación se encuentra en un estado incapaz de soportar cargas verticales, el suelo de la vecindad presenta falla.

Nudos y Puntos de Conexión:

- Leve: Edificaciones con un buen sistema de conexión de elementos de transmisión de cargas verticales y fuerzas horizontales, buena conexión entre sus diferentes elementos y a los elementos de cimentación, garantizando un comportamiento de tipo cajón.
- Moderado: Edificaciones con deficiencias en el sistema de conexión de elementos de transmisión de cargas verticales y fuerzas horizontales, pero presenta buena ligazón entre sus paredes ortogonales resistentes, buen sistema de anclaje a la cimentación, pero con un deficiente sistema de transmisión de fuerzas normales y de cortante.
- Severo: Edificaciones carentes de uniones y anclaje de los sistemas resistentes a fuerzas verticales y el diafragma, incluyendo la cimentación, que además no tiene sus paredes resistentes bien conectadas.

Escaleras:

- Leve: Ningún daño o daños menores a 3 mm en la conexión entre la escalera y los muros.
- Moderado: Daños menores entre 3 y 10 mm en la conexión con los muros, con graves aplastamientos o desmoronamientos y colapso parcial de la estructura de la escalera.
- Severo: Destrucción parcial o total de la escalera, con presencia de inclinaciones y deformaciones apreciables.

Cubiertas:

- Leve: No se observa desnivel en el techo, deslizamiento de algunas tejas apareciendo falla en alguna sin presentarse mayores problemas. Presencia de grietas menores a 1 mm. No se presenta daño, o este es despreciable.
- Moderado: Desnivel en el techo, desconexiones de los apoyos, desplazamientos relativos entre 5 y 30 mm, desmorone en la zona de los muros donde se encuentra soportada la cubierta. Presencia de humedades localizadas con pérdida de recubrimiento.
- Severo: Desnivel en el techo, daño severo o falla total notable en la estructura de techo, prácticamente todos los acabados exteriores de techo presentan daño severo o falla. Colapso parcial o total de la cubierta.

Formulario

Daños generales de la edificación

Revisar la edificación para las condiciones señaladas a continuación y hacer las aclaraciones necesarias en la sección de comentarios

 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL METODOLOGIA DE EVALUACION EN PATOLOGIA ESTRUCTURAL R & L INVESTIGACION DETALLADA
<p>FORMULARIO 2</p> <p>Daños Generales de la Edificación</p> <p><i>Estado General de la Edificación</i></p> <p>1. Existe Colapso No: _____ Total: _____ Parcial: _____ Que acciones de demolición se han iniciado Demolición Parcial: _____ Demolición Total: _____</p>

Ninguno: _____

2. Inclinación de la Edificación o desplazamiento de algún elemento
 Sí: _____ No: _____
 No se puede determinar: _____
 La inclinación apreciada es mayor del cinco por mil: _____

3. Falla o Asentamiento de la Cimentación
 Sí: _____ No: _____
 No se puede determinar: _____
 Piso de Mayor Daño o Afectación: _____

Daños Estructurales

Daños en elementos estructurales en el piso de mayor afectación

Indique el porcentaje de los elementos afectados según su grado de daño

	Leve	Moderado	Severo
Columnas:	_____	_____	_____
Vigas:	_____	_____	_____
Muros Portantes:	_____	_____	_____
Nudos o Puntos de Conexión:	_____	_____	_____
Placas:	_____	_____	_____
Cimientos:	_____	_____	_____

Daños No Estructurales

Daños en Elementos Arquitectónicos e Instalaciones

Indique el porcentaje de los elementos afectados según su grado de daño

	Leve	Moderado	Severo
Muros Divisorios:	_____	_____	_____
Muros de Fachadas:	_____	_____	_____
Escaleras:	_____	_____	_____
Cubierta:	_____	_____	_____
Cocinas:	_____	_____	_____
Baños:	_____	_____	_____
Pisos:	_____	_____	_____
Cielorrasos y Luminarias:	_____	_____	_____
Instalaciones Electricas:	_____	_____	_____
Instalaciones Hidraulicas:	_____	_____	_____
Instalaciones Sanitarias:	_____	_____	_____
Instalaciones de Gas:	_____	_____	_____
Instalaciones Telefónicas:	_____	_____	_____
Tanques Elevados:	_____	_____	_____
Incendio y derrame Tóxico:	_____	_____	_____

	Leve	Moderado	Severo
Elementos Estructurales	%	%	%
Elementos no Estructurales	%	%	%

8.4.7 Criterios para la clasificación de la edificación (habitabilidad)

Los elementos estructurales y no estructurales que se evalúan dependen del sistema estructural con que cuente la edificación. Para cada uno de los elementos estructurales y en cada nivel de daño (Leve, moderado, severo) se asigna un porcentaje (equivalente a la cantidad o extensión) del daño dependiendo de lo observado por el evaluador. Para los elementos no estructurales se combina la extensión y la severidad de los daños en la clasificación. A partir de la información del daño (nivel y porcentaje) que se presenta en cada tipo de elemento y del tipo de elementos involucrados se obtiene la noción de la gravedad del daño en el piso o la planta de mayores daños.

Con todos los elementos clasificados por niveles de daño y el porcentaje de elementos afectado es posible dar una calificación global de la estructura y de la parte arquitectónica.

Al igual que en la evaluación rápida están establecidos rangos mínimos y máximos para saber a qué categoría es asignado el conjunto estructural y arquitectónico de la edificación. Para que el conjunto de elementos estructurales o arquitectónicos se clasifique como daño severos pueden tener dos opciones: Más del 15% de elementos con daños severos, o más

de 30% de elementos con daño moderado. Para que el conjunto de elementos se clasifique como moderado se puede tener más de un 60% de elementos con daño leve o entre un 10% y 30% de elementos con daño moderado. Para clasificar el conjunto de elementos como leve se puede tener menos del 60% de elementos con daño leve o menos del 10% de elementos con daño moderado.

TABLA 4. RANGOS PARA LA CLASIFICACIÓN DEL DAÑO.

Rangos	Leve	Moderado	Severo
Mínimo		10	15
Máximo	60	30	

TABLA 5. CONDICIONES DE HABITABILIDAD.

Estructurales	No Estructurales	Habitabilidad
Leve	Leve	Habitable
Leve	Moderado	Habitable
Leve	Ninguna	Habitable
Leve	Severo	Uso Restringido
Moderado	Leve	Uso Restringido
Moderado	Moderado	Uso Restringido
Moderado	Ninguna	Uso Restringido
Moderado	Severo	Uso Restringido
Ninguna	Leve	Habitable
Ninguna	Moderado	Habitable
Ninguna	Ninguna	Habitable
Ninguna	Severo	Habitable con Restricciones

Severo	Leve	No Habitable
Severo	Moderado	No Habitable
Severo	Ninguna	No Habitable
Severo	Severo	Peligro de Colapso

8.4.8 Categorías de calificación global de la edificación

La clasificación se debe realizar teniendo en cuenta la afectación tanto de los elementos arquitectónicos como estructurales para poder evaluar realmente su capacidad para resistir cargas y si el peligro puede desaparecer al remover los elementos arquitectónicos afectados.

Clasificación Habitabilidad (color)

Habitable (Verde)

- Inmuebles que tienen un excelente comportamiento estructural y que no presentan evidencia de ningún tipo de daños.
- Inmuebles que sufren daños leves y muy puntuales en elementos arquitectónicos, (en menos de un 30% de los elementos) los cuales pueden ser reparados fácilmente y que no ofrecen peligro para la integridad de las personas que la ocupan.
- No ofrecen peligro para la integridad de las personas que la ocupan y pueden ser utilizadas inmediatamente. No significa que no sean necesarias posteriormente algunas reparaciones en acabados y elementos arquitectónicos.

Uso Restringido (Amarillo)

- Inmuebles que sufren daños importantes en elementos arquitectónicos, su ocupación estaría condicionada al retiro o reparación de aquellos elementos que ofrezcan peligro de caerse.
- El sistema resistente a cargas verticales o laterales no presenta reducción en su capacidad y no existe inestabilidad potencial, daños leves a moderados puntuales (en un % menor al 30%) en los elementos estructurales.
- No existe evidencia de daños importantes en la cimentación o asentamientos del terreno.
- Las escaleras y salidas principales son accesibles y se encuentran en servicio.
- Hay peligro puntual de falla o caída de objetos, daños severos en menos de un 30 % de los elementos arquitectónicos, pero no ponen en peligro la estabilidad de la estructura.
- No existen claramente condiciones que hagan la ocupación de la edificación insegura, pero el daño observado impide que se tenga una ocupación total y debe ser restringido el acceso a algunos sectores, cuya ocupación puede estar condicionada al retiro o reparación de aquellos elementos.

No Habitable (Naranja)

- Hay que evaluar la necesidad de apuntalar la edificación.
- Disminución significativa de la capacidad para resistir cargas verticales o laterales.
- Edificaciones que sufren daños generalizados en sus elementos arquitectónicos y estructurales (Daños moderados en más de un 30% de los elementos estructurales o daños moderados a severos en más de un 60% de los elementos arquitectónicos).


- Existe un riesgo asociado a la entrada, uso u ocupación del edificio, debido a la disminución en su resistencia, por la extensión de los daños o por la presencia de elementos en peligro de caer en las salidas principales y escaleras.
- El acceso a la edificación debe ser controlado y no se puede usar antes de ser reforzada. Hay que evaluar la necesidad de apuntalar la edificación.

Peligro de Colapso (Rojo)

- Cuando existen fallas severas en las estructuras de cimentación y existen problemas de hundimiento o asentamiento del edificio.
- Cuando más del 15% de los elementos estructurales verticales (columnas) en sistemas estructurales a base de pórticos resistentes a momentos o en sistemas a base de muros estructurales, presentan fallas que les reportan daños permanentes (Nivel de daño peligro de colapso) y el sistema de piso que se apoya en estos elementos verticales presenta asentamientos o deformaciones verticales cercanas a un estado de desplome. También en algunos casos en que el nivel de daño en columnas y muros estructurales reporte deformaciones permanentes en los mismos, hará pensar que la capacidad de estos elementos para soportar el sistema de piso está seriamente afectada.
- Si los daños encontrados son de extrema gravedad, la edificación no es segura y presenta peligro de colapso. Hay que evacuar totalmente, el acceso debe estar prohibido y es necesario proteger la calle y los edificios vecinos, apuntalar o demoler el edificio en forma urgente. En el caso de edificios aislados o con construcciones cercanas con la misma clasificación, la decisión de demolición debe tomarse luego de una evaluación desde el punto de vista económico del costo de su reparación y reforzamiento.

Ejemplo:

Al igual que en la investigación preliminar se plantea ahora en la investigación detallada la elaboración de la hoja de calculo donde se hace el diagnóstico de la estructura para llegar a un formato, donde se definan los criterios de habitabilidad.

 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECANICAS			
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL			
METODOLOGIA DE EVALUACION EN PATOLOGIA ESTRUCTURAL R & L			
INVESTIGACION DETALLADA			
FORMULARIO 2			
Daños Estructurales			
<i>Daños en elementos estructurales en el piso de mayor afectación</i>			
Indique el porcentaje de los elementos afectados según su grado de daño			
	Leve	Moderado	Severo
Columnas:	20	0	0
Vigas:	50	10	0
Muros Portantes:	10	30	0
Nudos o Puntos de Conexión:	45	12	14
Placas:	16	24	18
Cimientos:	0	0	0
Daños No Estructurales			
<i>Daños en Elementos Arquitectónicos e Instalaciones</i>			
Indique el porcentaje de los elementos afectados según su grado de daño			
	Leve	Moderado	Severo
Muros Divisorios:	20	25	15
Muros de Fachadas:	20	25	15
Escaleras:	15	15	40
Cubierta:	15	30	30
Cocinas:	60	60	60
Baños:	42	50	25

Pisos:	5	40	25
Cielorrasos y Luminarias:	20	10	0
Instalaciones Eléctricas:	40	23	0
Instalaciones Hidráulicas:	50	56	12
Instalaciones Sanitarias:	40	10	15
Instalaciones de Gas:	30	12	12
Instalaciones Telefónicas:	20	14	10
Tanques Elevados:	10	18	9
Incendio y derrame Tóxico:	0	19	8

Para la realización del siguiente formato, hay que tener en cuenta que para cada % de daño se le asigna un factor de ponderación, con el fin de resaltar la importancia en el comportamiento de unos sobre otros, como los que se muestran a continuación:

Elemento	Col.	Vig.	Mur.	Nud.	Pla.	Cim.	M. Di.	M.Fa.	Esc.
Factores de Pond.	0.20	0.20	0.10	0.15	0.15	0.20	0.15	0.15	0.10

Elemento	Cub.	Coc.	Bañ.	Pis.	Cie.	Ele.	Hid.	San.	Gas.
Factores de Pond.	0.20	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

Elemento	Tel.	Tan.	Inc.
Factores de Pond.	0.02	0.10	0.10



**METODOLOGIA DE EVALUACION EN PATOLOGIA ESTRUCTURAL R & L
INVESTIGACION DETALLADA**

FORMULARIO 3

% DE DAÑO EN AL EDIFICACION

	Leve %	Moderado %	Severo %
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	21,5555556	10,3333333	4,5555556
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	18,14	23,7	17,88

Comentarios

CLASIFICACION EL DAÑO:

ELEMENTOS ESTRUCTURALES MODERADO

ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES SEVERO

CLASIFICACION GLOBAL DE LA EDIFICACION

USO RESTRINGIDO

8.4.9 Recomendaciones y Medidas de Seguridad

Normalmente todas las evaluaciones consideran la posibilidad de que se requieran otros estudios más detallados o especializados, se establecen unas medidas de seguridad y se deja un espacio de comentarios para ampliar los criterios de clasificación o las recomendaciones.

Medidas de Seguridad

Medidas de Emergencia:

Apuntalar	_____
Colocar Barreras	_____
Restringir tráfico vehicular	_____
Restringir paso peatones	_____
Evacuar parcialmente el edificio	_____
Evacuar totalmente el edificio	_____
Evacuar edificaciones vecinas	_____
Manejo de sustancias peligrosas	_____

Demoliciones:

Demoler elementos en peligro de caer en el interior	_____
Demoler elementos en peligro de caer en el exterior	_____
Demolición Parcial	_____
Demolición Total	_____

Desconexión de Servicios Públicos:

Energía	_____
Gas	_____
Agua	_____

Medidas Posteriores:

Otro Concepto Estructural _____
Estudio de Vulnerabilidad _____
Rehabilitación Estructural _____
Visita Geotécnica _____

Especifique lugares del edificio que requiere la aplicación de las medidas de seguridad:

Recomendaciones

Reparación en forma puntual: _____

No se requiere ninguna revisión futura: _____

Se necesita visita especializada: Estructural _____ Geotécnica _____

Servicios Públicos _____ Otros _____

Es necesaria evaluación detallada: _____

Intervención de las Autoridades:

Planeación – Control Físico _____ Policía – Ejercito _____

Bomberos – Entidad de Rescate _____ Transito _____

Comentarios: _____

Inspectores: _____

Fecha de Inspección: _____

8.4.10 Evaluación

La evaluación es un proceso para determinar la suficiencia de una estructura o de uno de sus componentes para su uso previsto, analizando sistemáticamente la información y los datos obtenidos de revisiones de la documentación existente, inspección del campo, encuesta sobre la condición, y prueba material. Este proceso de investigación de evaluación no puede ser estandarizado generalmente en una serie de pasos bien definidos porque el número y el tipo de pasos varía dependiendo del propósito específico de la investigación, del tipo y de la condición física de la estructura, lo completo del diseño disponible y documentos de construcción, y de la calidad de los materiales de la construcción existentes.

Las evaluaciones estructurales se deben realizar para determinar la capacidad de carga de todos los elementos críticos de la estructura, y la estructura en su totalidad. La capacidad de la estructura para apoyar todo las cargas presentes y anticipadas según requisitos o estándares actuales de los códigos debe considerarse.

Dimensiones y geometría

Las actuales dimensiones de la parte estructural y arquitectónica se deben evaluar se uso, acceso, y espacio necesario. Las secciones transversales medidas en campo de los componentes estructurales críticos deben ser revisadas. Discrepancias entre las dimensiones en campo medidas y aquellas indicadas en los dibujos disponibles deben ser evaluadas.

Materiales

De los resultados del campo y de las pruebas de laboratorio se deben estudiar aquellos componentes de la estructura que requieren la reparación. Los componentes estructurales que requieren el reemplazo total deben ser identificados al igual que los nuevos materiales seleccionados. Todos los materiales existentes se deben evaluar para fuerza, calidad, y funcionamiento satisfactorio en términos de la esperanza de vida, de las cargas futuras, y del uso previsto.

Donde se requiere la rehabilitación, los materiales apropiados deben ser estudiados y hacerse las respectivas recomendaciones. Los materiales se deben seleccionar basados en el ambiente, tipo de uso, de expectativas de vida, y de compatibilidad con los materiales existentes.

Evaluación Estructural

Usando la información obtenida de la encuesta sobre el campo, evaluación de la dimensión y de la geometría, y evaluaciones de materiales; la capacidad de carga de la estructura o la porción de la estructura que experimenta la evaluación deben ser resueltos. La opción del método de evaluación depende de factores tales como la naturaleza de la estructura y la cantidad de información conocida sobre sus condiciones de existencia.

Las opciones típicas son: Evaluación por análisis, Evaluación por análisis y escala completa de pruebas de carga, o Evaluación por análisis y estructural.

La evaluación por el análisis, el método más común, y es el más recomendado cuando está disponible suficiente información sobre las

características físicas, características de los materiales, configuración estructural, y cargas a las cuales la estructura ha sido y será sujeta.

Evaluación por el análisis y escala completa de pruebas de carga, se recomienda el modelamiento estructural cuando la complejidad del concepto de diseño y de la carencia de la experiencia con el sistema estructural requiere hacer la evaluación solamente por métodos analíticos no fiables, o cuando la naturaleza de la existencia de la señal de socorro introduce incertidumbres significativas en la magnitud de los parámetros necesarios para realizar un analítico evaluación, o cuando la geometría y las características de los materiales de los elementos estructurales que son evaluados no puede ser determinado fácilmente ³⁸.

8.4.11 Informe Final

El informe final debe incluir los resultados de todas las fases de las observaciones del campo de la investigación, probando, y la evaluación, y debe también incluir conclusiones y recomendaciones al dueño en cómo proceder con proyecto de la rehabilitación. Debe incluir un plan de acción, valoraciones de costes, y diseño y construcción tentativos horarios ⁵¹.

Introducción

Los resultados de la investigación entera deben ser resumidos en un informe final. Este informe incluye generalmente una breve descripción de los campos fundamentales siguientes tratados durante el proceso de la evaluación:

- Propósito y alcance de la investigación
- Construcción y documentación existentes

- Observaciones del campo y encuesta sobre la condición
- Muestreando y prueba material
- Evaluación
- Resultados y recomendaciones

Propósito y alcance de la investigación

Esta sección del informe debe describir el propósito y alcance de la investigación según lo convenido con el dueño, incluyendo cualesquier modificación hecha durante el curso de la evaluación.

Construcción existente y documentación

Un breve resumen de la información sobre la estructura existente incluyendo la localización, el tamaño, la historia, arquitectónicas y los detalles estructurales, el etc., se deben incluir en esta sección.

Los resultados de la revisión de la documentación deben ser resumidos y suplido por las fotografías, copias de dibujos, y cualquier otra información pertinente como aplicable.

Una lista de todos los documentos recogidos y las fuentes deben ser incluidas.

Observaciones y encuestas sobre las condiciones existentes

Los resultados de la encuesta sobre la inspección y la condición para todas las porciones de la estructura, incluyendo las fundaciones, deben ser incluidas. El informe debe brevemente describir los métodos y el equipo usado, resultados de la verificación de esfuerzos en la

construcción, incluyendo todas las desviaciones, principales deficiencias que requieren el trabajo remediador, y todas las porciones de la estructura que deben ser alteradas para el cambio del uso o aspecto. El informe debe también incluir las fotografías, los bosquejos, los dibujos, y otra información pertinente preparada durante la encuesta sobre las operaciones de inspección y encuestas de campo.

Muestras y pruebas de materiales

Las localizaciones, los métodos, y los resultados no destructivos y prueba destructiva realizada durante la investigación detallada deben ser resumidos. Los resultados pueden ser suplidos con las fotografías y las copias del laboratorio de los informes de prueba apropiados. Los resultados deben indicar suficiencia en términos de la condición física, fuerza, y funcionamiento futuro de todo material estructural y arquitectónico probado.

Evaluación

El informe debe resumir los resultados de la evaluación de fuerzas de la estructura. Todas las suposiciones hechas y los métodos utilizado en el proceso de la evaluación deben se documentada claramente. Una breve descripción de cada alternativa de reparación o método de consolidación estudiado, junto con la demostración de los detalles de los bosquejos típicos, valoraciones de costos, y el impacto del método de reparación, debe ser incluida.

Resultados y Recomendaciones

Los resultados de cada tarea precedente discutidos deben resumirse en esta sección del informe. Los resultados deben incluir una discusión de la condición de la estructura y la viabilidad de la rehabilitación. Las recomendaciones deben tratar los asuntos siguientes: plan de acción, valoraciones de costos, la programación, y determinación de apremios y viabilidad ⁵¹.

CONCLUSIONES

- La Patología Estructural en el último cuarto de siglo, ha adquirido una importancia cada vez más relevante, debido a los desastres y pérdida de vidas humanas, lo cual lleva a que día a día más personas se involucren en la investigación y en la búsqueda de soluciones con el fin de mitigar los daños en edificaciones; por ello se espera que con la realización de esta tesis se despierte aún más el deseo por seguir explorando alrededor de este tema, por parte de las profesiones afines.
- Al hacer el análisis de la clasificación de las patologías se puede concluir que no se pueden estudiar independientemente unas de otras, ya que están relacionadas entre sí, al convertirse una en posible causa de otra. Por ello es importante definir claramente la analogía entre ellas para no tener el riesgo de confundirlas, evitando errores en el diagnóstico.
- De las normas y metodologías planteadas en todo el mundo, acerca de la evaluación de estructuras, fueron seleccionadas las más completas, recientes y mejor fundamentadas técnicamente, las cuales se analizaron no con el fin de escoger la mejor, sino de seleccionar de cada una, la información más útil; la cual fue ajustada a las condiciones que se presentan en nuestro país, dando como resultado la metodología R.L. de evaluación.

- Es necesario aclarar que el conocimiento es inacabado, por lo cual se dejan las bases planteadas para que posteriormente se realice en un estudio posterior y complementario a este proyecto otra tesis de pregrado sobre el proceso de rehabilitación estructural; para así completar el ciclo que parte desde el diagnóstico, pasando por la evaluación, para terminar finalmente en los métodos de reparación o restauración.

- La hoja de cálculo analizada en la metodología propuesta, permite realizar el proceso de evaluación de daños, de una manera ágil y rápida, convirtiéndose en una herramienta cuyo uso facilitará el trabajo de los inspectores, ahorrando por consiguiente recursos esenciales en cualquier obra civil: Costos y tiempo.

- En general, las enseñanzas que han dejado los diferentes daños encontrados a nivel mundial, indican que en los países donde se diseña de acuerdo con las normas establecidas, y donde la construcción es sometida a una supervisión estricta, el daño sobre la infraestructura es mínimo en comparación con el observado en sitios donde no se han dado estas circunstancias.

RECOMENDACIONES

- Quizás lo ideal es que algún día las decisiones de riesgo sean tomadas con criterios transparentes y comprometan de manera responsable a todos los actores: ocupantes (protección de la vida, heridas, trauma, etc.), propietarios (inversiones, reparaciones, etc.), negocios (interrupción, impacto económico, etc.), prestamistas y aseguradores (insolvencia financiera) y gobierno (salud pública, prevención de desastres, manejo de emergencia, interrupción del comercio, costos de reconstrucción, impuestos, etc.). Además, que se disponga de curvas de Costo / Beneficio que ilustren la suma de los costos directos de la construcción y las pérdidas esperadas debido a la presencia de daños. Esto ayudaría a justificar mejor el beneficio de reforzar estructuras existentes y optimizar el diseño de las nuevas edificaciones. Entre tanto, queda mucho camino por recorrer.
- La Universidad como pionera de la investigación y poseedora del conocimiento, tiene el compromiso con la comunidad, de proponer a los estamentos administrativos del gobierno, un estudio de evaluación de daños de las edificaciones del área metropolitana de Bucaramanga; convenio que será realizado con la Universidad Industrial de Santander a través de los grupos de investigación de la carrera de Ingeniería Civil.
- Se deberá establecer un ente o comité gubernamental que se encargue de evaluar la situación de las edificaciones en las

ciudades y municipios, el cual se rija por una determinada metodología de evaluación como la aquí planteada, complementada con una asesoría jurídica, en el caso de presentarse algún problema legal.

- Para un futuro estudio de evaluación de daños, se sugiere estar actualizado con respecto a los documentos publicados por los diferentes organismos internacionales, ya que año tras año ocurren nuevas patologías y a la vez métodos para evaluarlas más eficazmente. Cuando ocurren cambios en las normativas es necesario verificar si son convenientes o no en nuestro medio; los cambios no se pueden adoptar en forma descuidada.

- La recomendación más importante es que los residentes de las edificaciones tienen que tomar conciencia de la magnitud del problema, reportando con responsabilidad ante los organismos competentes, los posibles daños que se están presentando en las estructuras, para así llevar a cabo planes de prevención que eviten las pérdidas de vidas humanas en un futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. REYES ORTIZ, Juan Carlos. Estudio de Vulnerabilidad y Rehabilitación de Estructuras: Conceptos y Soluciones. Bogota, 2002. 143 p. Universidad de los Andes.
2. CARDONA, Omar Darío. “Estimación Holística del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas Dinámicos Complejos”. Barcelona, 2000. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña - UPC – Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería – CIMNE, Director: Alex H. Barbat.
3. GRASES, Jose. Principios de Ingeniería Estructural en Zonas Sísmicas. 2000. Biblioteca Virtual de desastres de la OPS.
4. Fundamentos para la Mitigación de desastres en establecimientos de salud. Washington D.C., 2000, 134 p. Organización Panamericana de la Salud. Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud.
5. SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Patología del Concreto: Durabilidad y Patología del Concreto. Bogotá, 2002, 20 p, Capítulo 3. Instituto del Concreto.

6. REITHERMAN, Robert. CHRISTOPHER, Arnold. Irregularidades en Estructuras: Configuración y diseño sísmico de edificios. México, D.F., 1987, p. 20 - 239. Editorial Limusa.

7. Normas Mínimas de reparación de viviendas. Antioquia, 2003, 28 p. Centro Nacional de la Construcción. SENA.

8. LAGOS, Elver Hernán. RANGEL, Rosby Elkin. Bucaramanga, 2002, p. 169 – 221. Tesis de Proyecto de Grado. Valoración estructural de la aplicabilidad en el medio colombiano de los sistemas de rehabilitación.

9. ATC 40. Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Applied Technology Council. Redwood City: California, United States, 1996.

10. FEMA – 273, 303 A. NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. Washington, D.C.: United States, 2000. Building Seismic Safety Council.

11. MUÑOZ, Harold Alberto. Patología por Sismo: Avance En Ingeniería Sísmica. Bogotá, 2003.

12. GUEVARA, Teresa. Recomendaciones para crear diseños arquitectónicos sismo resistentes a la luz de la NSR-98. Caracas, 2000, 39 p.
13. NSR – 98. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente: A.3.6.12 “Elementos Verticales Discontinuos”. Bogotá, 1998, 31 p, Tomo 1. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
14. ATC (Report ATC 40). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings: 2 Volumes, Seismic Safety Commission. Redwood City, United States, 1996.
15. NSR – 98. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente: Tabla A.3.7 “Irregularidades en Altura”, Figura A.3.2 “Irregularidades en la Altura”. Bogotá, 1998, Tomo 1. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
16. DAZA, L. Methodology to Evaluate Existing Reinforced Concrete Frames Under Earthquake Loads. Mayagüez, Puerto Rico, 1996. Tesis Doctoral. Universidad de Puerto Rico. Departamento de Ingeniería Civil.
17. GARCIA, L.E. Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico. Bogotá, 1998. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Universidad de los Andes.

18. SENA. ANTIOQUIA. Guía de estudio para la conformación de edificaciones Sismo - Resistentes. Medellín, 2003. Centro Nacional de la Construcción. Universidad Nacional de Colombia.
19. PEREZ VALCARCEL, Juan. Reparación de Estructuras de Hormigón Armado. Bogotá. 2003.
20. ARCILA LÓPEZ, Carlos Alberto. Fisuras en el Concreto: Causas, Evaluación y Tratamiento. 82 p.
21. ACI 224.1R: Causas, evaluación y reparación de fisuras en estructuras de concreto.
22. atlasde@hotmail.com. Atlas de Patologías: Clasificación de Fisuras.
23. ZAMBRANO LOPEZ, Jorge. Patología de la Construcción: Rehabilitación de Estructuras de Concreto. Bogotá, 2003.
24. Ensayo AASHTO T277. Prueba de Carbonatación en el Concreto.

25. ESTRADA R, Beatriz E. PETTINGA, Jarg. CAMPBELL, Jocelyn. Fallas Ciegas: Detectarlas para Incorporarlas en los Cálculos de Amenaza Sísmica en Colombia. Bogotá, 2003.
26. MALDONADO, Esperanza. SANCHEZ, Jorge Concha. GOMEZ, Gómez Jorge. Vulnerabilidad Sísmica Indicativa del Municipio de Bucaramanga. Volumen I: Resumen Ejecutivo. Bucaramanga, 2002, 225 p. Convenio Interadministrativo No 066. – Universidad Industrial de Santander – Oficina de Atención de desastres de la Alcaldía de Bucaramanga – Ciudad Digital.
27. CARDONA ARBOLEDA, Omar Darío. Avances Recientes en la Normativa Sismo Resistente. Bogotá, 2003, 63 p. Asociación Colombiana de Ingeniería.
28. CARDONA ARBOLEDA, Omar Darío. GARCIA R, Luis E. Bogotá, 2002. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
29. CAMPOS GARCIA, Ana. CARREÑO, Marta Liliana. Evaluación de daños en edificaciones después de un sismo. Bogotá, 2003, 15 p.
30. CARDONA A, Omar Darío. CAMPOS G, Ana. RAMIREZ V, Armando. CASTRILLON T, Enrique. CARREÑO T, Marta Liliana. PRIETO R, Samuel Darío. Proyecto Evaluación de Edificaciones

afectadas por Sismo en Manizales. Bogotá, 2003, 94 p. Asociación Colombiana de Ingeniería. AIS.

31. Post-Earthquake Investigation Fire Guide. 1996. Earthquake Engineering Research Institute – EERI.

32. Applied Technology Council: Addendum to the ATC-20 postearthquake building safety evaluation procedures, ATC-20-2. Redwood City, CA. 1995.

33. OAKS, S.D. KOMFIELD, L.M. Technical and Policy Related Issues in The application of ATC-20 Postearthquake Safety Evaluation Guidelines After The Loma Prieta Earthquake.

34. TAKESHI, Jumonji. Norma para la evaluación del Nivel de Daño por Sismo en Estructuras y Guía Técnica de Rehabilitación (estructuras de concreto reforzado). México, 1996. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Cuaderno de Investigación No. 37.

35. Manual de Evaluación de Daños para la Seguridad Estructural de Edificaciones. México, D.F., 1998. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C. Secretaria de Obras y Servicios Gobierno del Distrito Federal.

36. Norma para la Evaluación del Nivel de Daño por Sismo en Estructuras y Guía Técnica de Rehabilitación (Estructuras de

Concreto Reforzado). México, Marzo de 1996. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Cuadernos de Investigación, Número 37.

37. GORETTI, A. Post- earthquake building usability: a Assessment. Technical Report SSSN/RT/01/03. Italia, 2001.

38. ACI 364.1 R-94. (Reaprobada en 1999). Guía para la Evaluación de Estructuras en Concreto antes de una Rehabilitación. American Concrete Institute – ACI. San Francisco, 1999.

39. Administración de Desastres en la Planificación Regional del Desarrollo. Washington, 1991. Organización de Estados Americanos – OEA.

40. RAMIREZ, Armando. Formularios Para la Evaluación Postsísmica. Pereira, 1996. Elaborado para el Proyecto para la Mitigación del Riesgo Sísmico. CARDER.

41. CAMPOS, Ana. Memoria Técnica del censo de inmuebles afectados por el sismo del 25 de enero de 1999 en el eje cafetero. Armenia, 1999. Ministerio de Desarrollo.

42. Manual de Campo para la inspección de edificaciones después de un sismo. Manizales, 2003. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Alcaldía de Manizales – Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres – OMPAD.

43. Guía técnica para inspección de edificaciones después de un sismo
Manual de campo. Bogotá D.C., 2002. Asociación Colombiana de
Ingeniería Sísmica. Alcaldía Mayor de Bogotá – Fondo de
Prevención y Atención de Emergencias.
44. CARREÑO, Marta Liliana. CARDONA, Omar Darío. Sistema
Experto para la Evaluación Post-sísmica de daños en edificios.
Febrero 2002. Boletín Técnico AIS No 57.
45. Código del American Concrete Institute – ACI – 02 –. Actualización
de Requisitos de Diseño y Condiciones de Estructuras Existentes.
Estados Unidos, 2002.
46. SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Durabilidad y Patología del
Concreto: Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Estructuras en
Concreto. Bogota, 2002, 195 p, Capítulo 9. Instituto del Concreto.
ASOCRETO.
47. NARANJO GUZMAN, Giovanna. NUÑEZ LOPEZ, Andrés Mauricio.
Evaluación dinámica del edificio general José María Córdoba ante
carga sísmica. Armenia, 2003.
48. GOMEZ PIZANO, Daniel. CARDENAS ORDOÑEZ, Harold. Estudio
de vulnerabilidad y refuerzo sísmico del hospital universitario del
valle -Evaristo García. Cali, 2001.

49. Ensayo ASTM C – 876 – 91: Prueba de corrosión usando el equipo de media celda.
50. Estándar Europeo: pr EN 1504 (proyecto de norma).
51. YAÑEZ, Fernando. Norma Sismo - Resistente para Chile: Comisión de diseño estructural en hormigón armado y albañilerías perteneciente a la corporación de desarrollo tecnológico de la cámara chilena de la construcción. Santiago de Chile, 586 p., Mayo 2000.

BIBLIOGRAFIA

ACI 364.1 R-94. (Reaprobada en 1999). Guía para la Evaluación de Estructuras en Concreto antes de una Rehabilitación. San Francisco: American Concrete Institute – ACI - . 1999.

CARDONA, Omar Darío. “Estimación Holística del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas Dinámicos Complejos”: Paradigma del Riesgo en la Ingeniería Sísmica. Barcelona: Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña - UPC – Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería – CIMNE, Director: Alex H. Barbat. 2000.

CARDONA A, Omar Darío. CAMPOS G, Ana. RAMIREZ V, Armando. CASTRILLON T, Enrique. CARREÑO T, Marta Liliana. PRIETO R, Samuel Darío. Proyecto Evaluación de Edificaciones afectadas por Sismo en Manizales. Manizales: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Junio 2003. 94 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Segunda Actualización. Bogotá: ICONTEC, 2002. 148 pp. NTC 1487 – 1160.

MUÑOZ, Harold Alberto. Patología por Sismo: Avance En Ingeniería Sísmica. Bogotá. 2003.

SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Patología del Concreto: Durabilidad y Patología del Concreto. Bogotá: Instituto del concreto. 2002. 280 p.

REYES ORTIZ, Juan Carlos. Estudio de Vulnerabilidad y Rehabilitación de Estructuras: Conceptos y Soluciones. Bogotá: Universidad de los Andes. 2002. 143 p.

http://www.engr.psu.edu/ce/concrete_clinic/: Contiene un simulador de problemas relacionados con el concreto, documentación técnica y didáctica sobre la materia en formato PowerPoint y un amplio número de artículos.

<http://www.mfom.es/cph/cph.html>: Página de la Comisión Permanente de Concreto de España, entidad que vela por el buen uso del concreto. La página contiene una sección interesante de preguntas y respuestas sobre evaluación y patología.

http://www.seconstruye.com/jh2003/PDF/Trabajos/CarPine_ViceZeto.pdf: En este artículo se hace una comparación entre los criterios de durabilidad de las normas de USA, España y Chile. Un estudio interesante que se puede ver con espejo del caso colombiano.

<http://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/pubval/Patologia/transparencias%20patologia.pdf>: Artículo que abarca ampliamente el tema de la patología estructural.

