

Maestría en Ingeniería Civil

**ANÁLISIS DE ALGUNAS CAUSAS DE FALLAS Y DEFECTOS DE
LAS ESTRUCTURAS**

Ricardo Andrés Saavedra Guzmán

Bogotá, D.C., 6 de agosto de 2019



Análisis de algunas causas de fallas y defectos de las estructuras

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Estructuras**

Pedro Nel Quiroga Saavedra, Ph.D.

Director

Bogotá, D.C., 6 de agosto de 2019



La tesis de maestría titulada “Análisis de causas de fallas y defectos de las estructuras”, presentada por Ricardo Andrés Saavedra Guzmán, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.

Director de la tesis

Pedro Nel Quiroga Saavedra, Ph.D.

Jurado

Ricardo Matallana

Jurado

Sandra Rocío Jerez Barbosa, Ph.D.

Bogotá, D.C., 25 de Julio de 2019

A Sandra, mi amiga, mi compañera de aventuras, mi cómplice y soporte a lo largo de todos estos años.

Agradecimientos

A los profesionales, colegas y amigos, que contribuyeron con la elaboración del presente trabajo.

Resumen

La patología estructural es la disciplina profesional cuyo propósito es investigar las fallas y defectos que aquejan a las estructuras, determinar sus causas reales y proponer alternativas de solución.

Aunque hay gran cantidad de libros y reportes de patología de estructuras, la mayoría son de otros países, que tienen condiciones, sistemas y métodos constructivos diferentes, por lo tanto no necesariamente los ejemplos expuestos en esta literatura se asemejan a los casos diarios que suceden en nuestro país.

Por tal motivo, se decidió elaborar un documento que exponga el análisis de algunos casos de fallas y defectos de estructuras propias de nuestro país para servir de referencia y apoyo a los profesionales interesados en la investigación de estas anomalías que a diario se presentan en las construcciones.

Este proyecto se desarrollará iniciando por la investigación de los tipos más usuales de fallas y defectos que se pueden presentar en una estructura, posteriormente se indagará respecto a las metodologías de exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras, para luego desarrollar el análisis de una serie de casos recopilados por el autor donde en la medida de los mismos, se identificarán las fallas, se definirán las posibles causas y sus posibles soluciones, resaltando las enseñanzas.

Finalmente se plantearán las conclusiones del proyecto de investigación de acuerdo con el aporte que representan al lector.

Índice de Contenido

Introducción	16
Capítulo I Fallas y defectos de las estructuras	18
1.1. Tipos de fallas o defectos	19
1.1.1. Fallas por procesos mecánicos.	19
1.1.2. Fallas por procesos físicos.	25
1.1.3. Fallas por procesos químicos y biológicos.	28
Capítulo II Metodologías de exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras	32
2.1. Metodología descrita por Paulo Helene	32
2.2. Metodología descrita por Fernando López, Ventura Rodríguez, Jaime Santa Cruz, Ildelfonso Torreño y Pascual Ubeda	33
2.3. Metodología descrita por Juan Monjo	36
2.4. Metodología descrita por Carles Broto	37
2.5. Metodología descrita por Harold Muñoz	39
2.6. Metodología descrita por Patricia Díaz (2014)	40
2.7. Propuesta de metodología de investigación de fallas y defectos de estructuras	41
2.7.1. Planificación del proyecto de investigación (visita preliminar)	41
2.7.2. Recopilación de información (visita de campo)	42
2.7.3. Hipótesis (desarrollo y análisis)	44
2.7.4. Actuación (mantenimiento o sustitución, reparación o reforzamiento)	45
2.7.5. Informe final	46
2.7.6. Seguimiento	46
Capítulo III Casos de fallas y defectos de estructuras en Colombia	47

3.1. Remodelación dormitorios – Pandeo de elementos cercha metálica existente	47
3.2. Casa administrador casa campestre – Asentamiento diferencial	52
3.3. Edificio residencial – Afloramiento de agua en pisos de parqueaderos de sótanos	66
3.4. Brazo pescante – Falla en prueba de carga	76
3.5. Casa de bombas – Evaluación estructural por renovación de equipos	82
3.6. Cubierta marquesina – Pandeo de vigas en etapa de montaje	100
3.7. Edificio residencial – Humedad recurrente en la pared	106
3.8. Puente vehicular – Daños en vigas longitudinales	111
3.9. Edificio de oficinas – Fisuramiento prematuro de vigas de cubierta	120
3.10. Bodega almacenamiento liviano – Rotura placa de contrapiso	127
3.11. Vía local – Rugosidad y micro fisuración de carpeta asfáltica	132
3.12. Hangar – Fisuración placas de piso	136
3.13. Edificio residencial – Asentamiento diferencial cubiertas auxiliares	141
3.14. Caseta de acceso – Fisuración losa de cubierta	148
3.15. Muelle flotante – Deflexión excesiva pasarela de acceso	154
3.16. Puente grúa 5 t – Descarrilamiento constante	159
3.17. Plataforma puente peatonal acceso tanques de combustible – Deformación de elementos y corrosión estructura	164
3.18. Caseta estación – Retraso puesta en servicio de estructura por refuerzo incompleto de cubierta	170
3.19. Bodega parque industrial – Asentamiento columnas fachada	174
3.20. Estructura soporte equipo – Defectos en proceso de galvanizado	188
Capítulo IV Conclusiones	196
Bibliografía	198

Índice de figuras

Figura 1. Origen de los problemas patológicos con relación a las etapas de las obras civiles (Helene, 2015)	18
Figura 2. Deformación en viga debida a carga distribuida (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).	20
Figura 3. Pandeo de columna debida a aumento de esbeltez (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).	20
Figura 4. Inclinación de fachada debida a giro de zapata (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).	21
Figura 5. Rotación de la parte superior de una columna (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).	21
Figura 6. Ejemplo de grietas por cargas externas o asentamientos en muros (Broto, 2005).	22
Figura 7. Fisuras en vigas de concreto reforzado por acción de esfuerzos (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).	23
Figura 8. Fisuras en placa al iniciar la etapa de endurecimiento del concreto, generadas por una rápida pérdida de humedad (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).	24
Figura 9. Ascensión de humedad a través de elementos enterrados (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).	26
Figura 10. Filtración de agua a través de los muros (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).	26
Figura 11. Humedad debida a perdida de bajante de aguas lluvias (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).	27
Figura 12. Corrosión de una estructura metálica (Broto, 2005).	29
Figura 13. Daños por carbonatación en concreto reforzado (Broto, 2005).	30
Figura 14. Ataque de insectos xilófagos a la madera (Broto, 2005).	31
Figura 15. Daños producidos por las raíces de un árbol (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).	31
Figura 16. Proceso de las actuaciones ante la patología estructural en la edificación (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).	34
Figura 17. Corte transversal cercha existente (archivo propio)	47

Figura 18. Esquema de falla (archivo propio)	48
Figura 19. Esquema de alternativa de solución (archivo propio)	51
Figura 20. Fachada principal casa mayordomo (archivo propio)	53
Figura 21. Grieta en fachada principal costado oriental (archivo propio)	54
Figura 22. Grieta en fachada posterior costado occidental (archivo propio)	54
Figura 23. Fisuras y grietas fachada principal costado occidental (archivo propio)	55
Figura 24. Fisuras en piso de acabado a lo largo de toda la casa (archivo propio)	55
Figura 25. Desplazamiento de placa de piso respecto al muro (archivo propio)	56
Figura 26. Punzonamiento de placa de piso debida a apoyo de borde de muro (archivo propio)	56
Figura 27. Grieta en placa de piso fachada posterior (archivo propio)	57
Figura 28. Fisura alrededor de caja de inspección (archivo propio)	57
Figura 29. Perforaciones de conexión de correa fuera de lugar (archivo propio)	58
Figura 30. Apoyo temporal de correa de borde (archivo propio)	58
Figura 31. Gotera a lo largo de muro del baño (archivo propio)	59
Figura 32. Desplazamiento lateral de muro en piedra (archivo propio)	59
Figura 33. Registro del desplazamiento medido en sitio (archivo propio)	60
Figura 34. Detalle estructural no ejecutado en obra (archivo propio)	60
Figura 35. Apique viga de cimentación fachada principal (archivo propio)	61
Figura 36. Detalles constructivos de cimentación (archivo propio)	61
Figura 37. Detalle de filtro en planos de diseño estructural (archivo propio)	67
Figura 38. Eflorescencias en juntas de sobre placas (archivo propio)	68
Figura 39. Manchas en superficie de sobre placas (archivo propio)	68
Figura 40. Drenajes obstruidos al interior de los muros de limpieza (archivo propio)	69
Figura 41. Manchas de humedad en muros de limpieza (archivo propio)	69
Figura 42. Exploraciones en sótano Torre 1 (archivo propio)	70
Figura 43. Perforación en la placa de contrapiso con presencia de nivel freático (archivo propio)	71
Figura 44. Regata en drenaje existente, drenajes conformados por medios tubos (archivo propio)	71
Figura 45. Exploraciones en sótano de Torre 2 (archivo propio)	72

Figura 46. Presencia de agua que al parecer se filtra a través de las junta de la sobre placa y por el muro de limpieza (archivo propio)	73
Figura 47. Detalle de obras de drenaje de la solución propuesta (archivo propio)	74
Figura 48. Alzado estructura brazo pescante (archivo propio)	76
Figura 49. Deformación del extremo en voladizo (archivo propio)	77
Figura 50. Definición de condición EQUAL no adecuada (archivo propio)	79
Figura 51. Deformaciones en puntos con condición EQUAL no adecuada (archivo propio)	79
Figura 52. Apoyo de segmento vertical de viga sobre columna (archivo propio)	80
Figura 53. Definición de condición tipo EQUAL adecuada (archivo propio)	81
Figura 54. Alzado estructura casa de bombas (archivo propio)	83
Figura 55. Detalle canal interno sobre placas de sótano (archivo propio)	83
Figura 56. Configuración placas de sótano (archivo propio)	84
Figura 57. Fisura entre aberturas de placa (archivo propio)	85
Figura 58. Fisura cercana a equipo hidro-reóstato (archivo propio)	86
Figura 59. Fisura con tratamiento previo - inyecciones (archivo propio)	86
Figura 60. Mapeo de fisuras cara superior placa sótano 3 (archivo propio)	87
Figura 61. Fisuras en borde de pasa losas (archivo propio)	88
Figura 62. Fisura alrededor de foso de ascensor (archivo propio)	88
Figura 63. Mapeo de fisuras cara superior placa sótano 2 (archivo propio)	89
Figura 64. Mapeo de fisuras y eflorescencias cara inferior placa sótano 2 (archivo propio)	90
Figura 65. Mapeo de fisuras y eflorescencias cara inferior placa sótano 3 (archivo propio)	91
Figura 66. Eflorescencias cara inferior de placas (archivo propio)	92
Figura 67. Fisura en plaqueta de acabado (archivo propio)	92
Figura 68. Filtración entre plaqueta de acabado y placa (archivo propio)	93
Figura 69. Agua acumulada en canales perimetrales (archivo propio)	93
Figura 70. Eflorescencias que se originan en fisuras de los muros pantalla (archivo propio)	94
Figura 71. Corrosión de elementos metálicos de escalera (archivo propio)	94
Figura 72. Daños en toma eléctrica y señales de lixiviados en el muro (archivo propio)	94

Figura 73. Lixiviados en el concreto de la placa (archivo propio)	95
Figura 74. Corrosión de anclajes de baranda (archivo propio)	95
Figura 75. Efecto de goteras sobre el acabado de placa (archivo propio)	95
Figura 76. Fisuras y grietas en andén perimetral caseta de bombas (archivo propio)	96
Figura 77. Detalle instalación nuevo acabado (archivo propio)	98
Figura 78. Configuración general de la marquesina (archivo propio)	100
Figura 79. Detalle de giro viga principal (archivo propio)	101
Figura 80. Detalle de viga secundaria torcida (archivo propio)	102
Figura 81. Conexiones incompletas (archivo propio)	102
Figura 82. Modificación al modelo estructural original (archivo propio)	104
Figura 83. Esquema de cercha armada en la viga principal (archivo propio)	105
Figura 84. Reemplazo bajante aguas lluvias (archivo propio)	106
Figura 85. Conexión codo bajante (archivo propio)	107
Figura 86. Goteras en el techo y mancha de humedad en la pared (archivo propio)	108
Figura 87. Deterioro generado por la humedad (archivo propio)	108
Figura 88. Detalle solución propuesta (archivo propio)	110
Figura 89. Vista general del puente (www.googlemaps.com)	111
Figura 90. Planta general localización de vigas (www.googlemaps.com)	112
Figura 91. Impacto de camión sobre cruce diagonal 117 (Laura Paudi - Twitter)	112
Figura 92. Acero de refuerzo expuesto en viga (www.idu.gov.co)	113
Figura 93. Daño en viga metálica por impacto de vehículo de carga (www.lafm.com.co)	114
Figura 94. Impacto en pórtico de señalización (www.bluradio.com.co)	114
Figura 95. Fuselaje de avión detenido (www.noticias.caracol.com)	116
Figura 96. Pórtico afectado cruce diagonal 117 (archivo propio)	117
Figura 97. Pórtico calzada lenta autopista norte (archivo propio)	118
Figura 98. Pórtico cruce diagonal 117 (archivo propio)	119
Figura 99. Corte transversal edificio (archivo propio)	120
Figura 100. Planta general vigas de cubierta (archivo propio)	121
Figura 101. Agrietamiento en cabeza de columna segundo piso (archivo propio)	123
Figura 102. Fisuras en cabeza de columna segundo piso (archivo propio)	123

Figura 103. Fisuras en apoyo de vigas de cubierta (archivo propio)	124
Figura 104. Agrietamiento en la parte superior de vigas (archivo propio)	124
Figura 105. Abultamiento en plaquetas-voladizo de cubierta (archivo propio)	124
Figura 106. Corte transversal bodega liviana (archivo propio)	127
Figura 107. Planta general placa de contrapiso (archivo propio)	128
Figura 108. Corte transversal placa de contrapiso (archivo propio)	128
Figura 109. Falla de placa de contrapiso (archivo propio)	129
Figura 110. Línea de falla placa de contrapiso (archivo propio)	130
Figura 111. Segmento vial para mantenimiento (archivo propio)	132
Figura 112. Segmento vial terminado (archivo propio)	133
Figura 113. Defectos en la carpeta asfáltica (archivo propio)	133
Figura 114. Hallazgos producto de la excavación (archivo propio)	134
Figura 115. Vista en planta distribución de placas (archivo propio)	136
Figura 116. Fisuras en placa de piso (archivo propio)	137
Figura 117. Demolición de placa zona mezanine (archivo propio)	138
Figura 118. Instalación de pintura en pisos (archivo contratista)	139
Figura 119. Vista general del edificio (archivo propio)	141
Figura 120. Detalle del asentamiento del edificio respecto al andén (archivo propio)	142
Figura 121. Detalle desnivel sentido transversal cubiertas (archivo propio)	143
Figura 122. Detalle desnivel sentido longitudinal cubiertas (archivo propio)	143
Figura 123. Posición cubiertas costado oriental (archivo administración edificio)	145
Figura 124. Posición cubiertas costado occidental (archivo administración edificio)	146
Figura 125. Detalle columna ajustable (archivo propio)	147
Figura 126. Vista en planta cubierta caseta (archivo propio)	148
Figura 127. Detalle fisura y deformación voladizo placa de cubierta (archivo propio)	149
Figura 128. Disposición sacos de arena (archivo propio)	150
Figura 129. Detalle acero de refuerzo placa (archivo propio)	150
Figura 130. Vista en planta muelle (archivo propio)	154
Figura 131. Alzado muelle y pasarela de acceso (archivo propio)	155
Figura 132. Esquema de alzado deformación pasarela (archivo propio)	156

Figura 133. Cara interior del patín inclinada (archivo propio)	157
Figura 134. Esquema de soldaduras propuesto (archivo propio)	158
Figura 135. Vista general del puente grúa (archivo propio)	159
Figura 136. Planta general del puente grúa (archivo propio)	160
Figura 137. Registro dimensional costado izquierdo - posición de la carga (archivo propio)	161
Figura 138. Registro dimensional costado derecho (archivo propio)	162
Figura 139. Puente peatonal acceso tanques (archivo contratista)	164
Figura 140. Configuración plataforma puente peatonal (archivo contratista)	165
Figura 141. Daños por procesos de soldadura en elementos existentes (archivo contratista)	166
Figura 142. Registro dimensional costado derecho (archivo contratista)	166
Figura 143. Falla en elementos de barandas (archivo contratista)	167
Figura 144. Detalle empalme perfil principal plataforma (archivo contratista)	168
Figura 145. Vista en planta placa de cubierta (archivo propio)	170
Figura 146. Distribución de refuerzo superior adicional a la malla electrosoldada, plano as-bulit (archivo propio)	171
Figura 147. Distribución de refuerzo inferior adicional a la malla electrosoldada, plano as-bulit (archivo propio)	171
Figura 148. Detalle distribución de refuerzo extraído de plano de diseño (archivo propio)	172
Figura 149. Fachada intervenida (archivo propio)	175
Figura 150. Deformación vertical diferencial de fachada (archivo parque industrial)	176
Figura 151. Fisuras y grietas en fachada (archivo parque industrial)	176
Figura 152. Fisuras y grietas cercanas a ventanas (archivo parque industrial)	177
Figura 153. Fisura en diagonal en la fachada (archivo parque industrial)	177
Figura 154. Fisura vertical sobre fachada (archivo parque industrial)	178
Figura 155. Marco de ventana torcido (archivo parque industrial)	178
Figura 156. Fisura en diagonal unión viga columna (archivo parque industrial)	179
Figura 157. Desprendimiento de recubrimiento superior de viga (archivo parque industrial)	179

Figura 158. Abertura en junta entre placa de piso y muro (archivo parque industrial)	180
Figura 159. Fisuras transversales en cabeza de columna (archivo parque industrial)	180
Figura 160. Fisura en placa de piso (archivo parque industrial)	181
Figura 161. Daños en vía adyacente (archivo parque industrial)	181
Figura 162. Grieta de la estructura del pavimento vía adyacente (archivo parque industrial)	182
Figura 163. Hundimientos del andén adyacente (archivo parque industrial)	182
Figura 164. Árboles plantados cerca de la fachada (archivo parque industrial)	183
Figura 165. Señalización de advertencia de riesgo caída del muro (archivo parque industrial)	184
Figura 166. Revisión y monitoreo de los especímenes arbóreos (archivo parque industrial)	185
Figura 167. Poda y tala de árboles (archivo parque industrial)	186
Figura 168. Actividades de reforzamiento de elementos de concreto reforzado (archivo parque industrial)	187
Figura 169. Isométrico estructura de soporte (archivo propio)	188
Figura 170. Oxido y desprendimientos del acabado (archivo propio)	189
Figura 171. Manchas negras y ausencia de recubrimiento (archivo propio)	190
Figura 172. Distorsión en columnas metálicas (archivo propio)	190
Figura 173. Reparación inicial con producto inadecuado (archivo propio)	193
Figura 174. Detalle de soldaduras adicionales en láminas (archivo propio)	193
Figura 175. Perforación para drenaje realizada en sitio (archivo propio)	194

Introducción

Los daños, defectos y demás manifestaciones físico químicas que pueden aquejar una estructura son investigadas por la Patología Estructural, rama de la Ingeniería Civil que en los últimos años ha ganado mayor interés, en parte por la necesidad de actualizar las edificaciones al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, ya que algunos de los profesionales encargados de esta actividad se han encontrado con una serie de fallas y deficiencias que los ha llevado a ofrecer el servicio de evaluación patológica, el cual permite identificar las fallas y defectos estructurales, establecer su proceso de evolución y origen, plantear un diagnóstico y sus alternativas de solución, con el fin de que las estructuras recuperen su estado de funcionalidad y seguridad.

Sin embargo, la fuente de información proviene de otros países que han incursionado en este campo desde mucho tiempo atrás y no necesariamente los ejemplos o casos de estudio de dicha literatura se asemejan a los casos que a diario se suscitan en nuestro país, pues como es de conocimiento general, la formación profesional, los materiales, procesos constructivos y los agentes atmosféricos son diferentes al de otros países y más aún, con frecuencia el uso que se les da a las estructuras no necesariamente corresponde al planteado en el diseño estructural.

Con base en lo anterior, se establece como objetivo general la contribución con la elaboración de un manual de patología - fallas y defectos de las estructuras, que actualmente desarrolla el centro de estudios de estructuras y materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, para lo cual se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Describir los tipos de patologías más usuales que pueden manifestarse en una estructura.
- Describir y recomendar las metodologías para la exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras.
- Recopilar, documentar y analizar las posibles causas de una serie de casos de patologías de estructuras ya sean por fallas o defectos de las mismas.

La estructura y desarrollo del presente trabajo se dividió en tres capítulos, organizados de acuerdo los objetivos específicos planteados.

En el capítulo uno se describe los tipos de fallas más comunes que se pueden presentar en las estructuras, originados por diferentes procesos relacionados con el entorno y su uso.

El capítulo dos describe y plantea una serie de metodologías de reconocidos autores y otros proyectos de investigación para la exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras poniendo a disposición del lector una serie de secuencias organizadas para su estudio patológico, adicionalmente con base en la información recopilada y a la experiencia propia se plantea una metodología de investigación de fallas y defectos de las estructuras.

Por último en el capítulo tres, se documentan una serie de casos de fallas y defectos de estructuras de nuestro país recopilados por el autor, donde en la medida de lo posible y gracias a la información obtenida, se describe la falla o defecto presentado, se analizaron las posibles causas y se plantearon posibles soluciones resaltando las enseñanzas de cada caso.

Capítulo I Fallas y defectos de las estructuras

Para Helene (2015), las fallas y defectos de las estructuras son manifestaciones físicas y químicas de una estructura o parte de ella, estas pueden aparecer durante su construcción o durante su puesta en servicio y aparecen por fallas de planeación, errores en el diseño, falencias en los procesos de construcción o fabricación, defectos en los materiales utilizados y el uso (incluye el mantenimiento) que se le da a las estructuras. A continuación se presenta el porcentaje donde se originan las fallas y defectos de acuerdo a las etapas de la obra civil, estos valores pueden variar dependiendo del autor e inclusive del país sin embargo, la gran mayoría coincide en que el mayor número de patologías se generan en la etapa de diseño.



Figura 1. Origen de los problemas patológicos con relación a las etapas de las obras civiles (Helene, 2015)

Según Broto (2005) y Helene (2015), la ciencia que se encarga de estudiar el origen de las causas de las fallas y defectos de las estructuras, brindar un tratamiento y recuperar el nivel de servicio original y de seguridad de las mismas, es la patología estructural.

Un adecuado estudio patológico es aquel que aclara por completo la secuencia temporal de la falla o defecto, define los síntomas, plantea el proceso de evolución y establece su origen o causa, Helene (2015).

Al definir la causa de la falla o defecto, el Ingeniero será capaz de plantear una estrategia de solución y recomendar en algunos casos una serie de medidas para prevenir futuros eventos similares.

1.1. Tipos de fallas o defectos

Para Broto (2005), las fallas o defectos son el resultado final de un proceso patológico de la estructura, la identificación apropiada del tipo de falla permitirá plantear una adecuada solución, en una estructura pueden existir fallas que se originaron a partir de otras, por lo tanto una primera distinción son las fallas primarias y secundarias, siendo estas últimas una consecuencia de las primeras.

En general, las fallas o defectos pueden agruparse en tres grandes familias dependiendo del tipo de acción que las provoca y de la evolución del proceso:

- Fallas por procesos mecánicos
- Fallas por procesos físicos
- Fallas por procesos químicos y biológicos

1.1.1. Fallas por procesos mecánicos.

Este tipo de fallas incluyen los daños generados por acción de un esfuerzo mecánico que genera desplazamientos, movimientos, roturas, separaciones y desgaste, generalmente están relacionadas con la función de soporte o de resistencia de cargas que cumple el elemento o la estructura, dentro de este tipo de fallas se puede distinguir las deformaciones, las grietas, las fisuras, desprendimientos y las erosiones mecánicas, (Broto 2005, Monjo 2001).

1.1.1.1. Deformaciones.

Son daños generados por el cambio de la forma original del elemento, pueden evidenciarse tanto en elementos estructurales, no estructurales y de manera global sobre la estructura, pueden diferenciarse dos tipos de causas, las indirectas relacionadas con errores de cálculo y deficiencias en procesos constructivos y las directas que tienen que ver con sobrecargas no consideradas, ampliaciones o remodelaciones y cambios de uso. Las deformaciones pueden subdividirse en cuatro grupos, (Broto 2005, Monjo 2001):

- Flechas: deformación de elementos horizontales tales como vigas y losas debidas a cargas verticales.

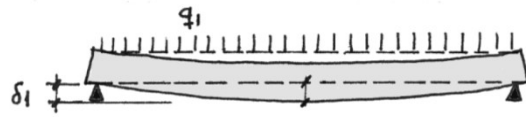


Figura 2. Deformación en viga debida a carga distribuida (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).

- Pandeos: deformación debida a esfuerzos de compresión o aumento de la esbeltez generalmente en elementos verticales tales como columnas y muros, también se pueden presentar en elementos horizontales.

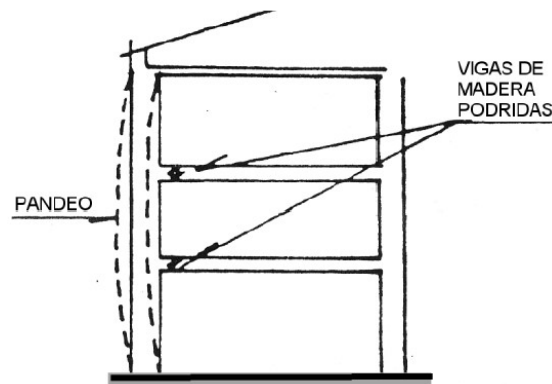


Figura 3. Pandeo de columna debida a aumento de esbeltez (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).

- Desplomes: pérdida de verticalidad de elementos tales como columnas y muros generalmente originados por acciones horizontales, dentro de este subgrupo de manera global se encuentran los asentamientos diferenciales de la cimentación de una estructura ya sea por fallas del terreno, dimensiones de la cimentación insuficiente o cargas no consideradas.

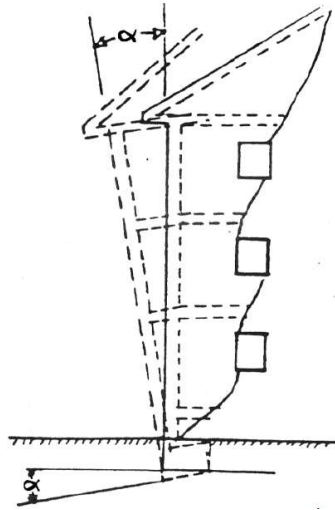


Figura 4. Inclinación de fachada debida a giro de zapata (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).

- Rotaciones: giros de elementos estructurales tales como vigas y columnas generalmente debido a acciones horizontales.

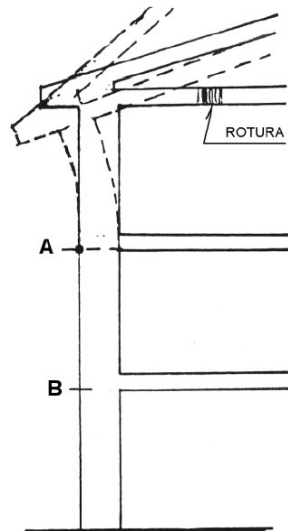


Figura 5. Rotación de la parte superior de una columna (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).

1.1.1.2. Grietas.

Son aberturas incontroladas generadas por la rotura de un elemento estructural o no estructural, las grietas afectan la totalidad del espesor del mismo y en el caso del concreto reforzado debido al acero de refuerzo, es posible que no lo llegue a atravesar.

Generalmente son el resultado de un sobre esfuerzo y se manifiestan perpendiculares a éste cuando se trata de tensión y son paralelas al esfuerzo cuando este es de cortante, se pueden clasificar en dos grupos dependiendo del origen del esfuerzo que las genera, (Broto 2005, Monjo 2001):

- Esfuerzos de cargas externas o asentamiento: aberturas generadas al someter al elemento a cargas superiores o no contempladas en el diseño estructural ya sea por cambio de uso, cargas adicionales o esfuerzos inducidos por fallas en la cimentación de la estructura.

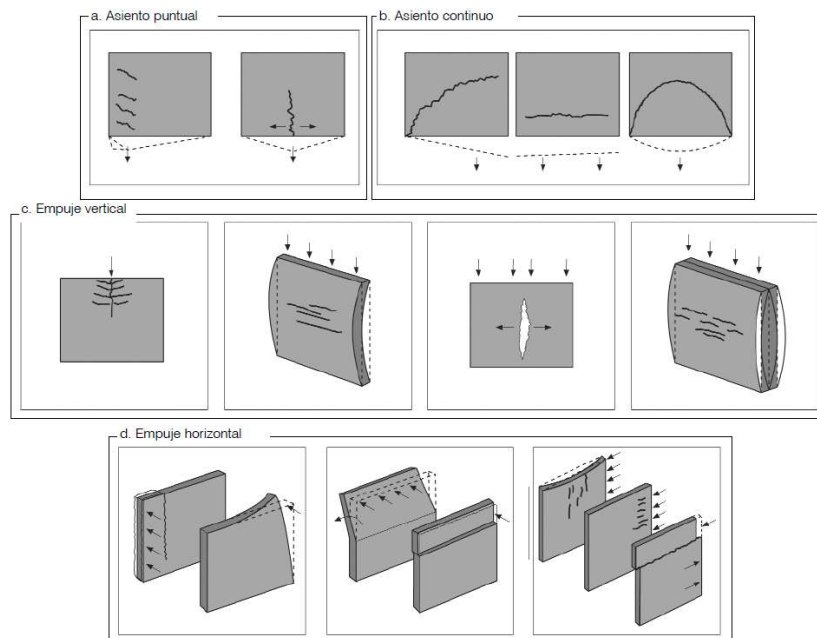


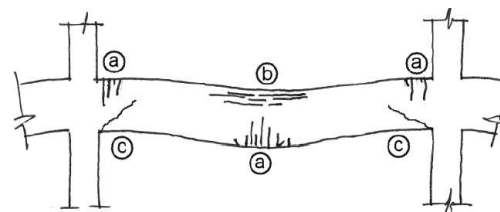
Figura 6. Ejemplo de grietas por cargas externas o asentamientos en muros (Broto, 2005).

- Esfuerzos por movimientos higrotérmicos: aberturas generadas por la acción de los cambios de temperatura o del contenido de humedad en el elemento que aparecen generalmente cuando no se prevén las respectivas juntas de dilatación y contracción.

1.1.1.3. Fisuras.

Son aberturas que afectan la superficie o el acabado de un elemento estructural o no estructural, son consideradas como una etapa previa a las grietas, sin embargo su origen y evolución difiere de ellas, aunque en principio pueden parecer leves, pueden llegar a afectar la durabilidad del material. En el caso de concreto reforzado, el acero de refuerzo es aquel que impide que la fisura evolucione a grieta, lo que llegaría a suceder en el caso de los elementos cerámicos o de mampostería. Las fisuras se pueden subdividir en dos grupos, (Broto 2005, Monjo 2001):

- Por acciones mecánicas: estas se originan por la acción de esfuerzos sobre los elementos.



- a) Fisuras debidas a esfuerzos de tracción
- b) Fisuras debidas a esfuerzos de compresión
- c) Fisuras debidas a esfuerzos de cortante

Figura 7. Fisuras en vigas de concreto reforzado por acción de esfuerzos (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).

- Por acciones higrotérmicas: estas se originan por la acción de los cambios de temperatura y humedad del elemento durante su construcción o estando en servicio.

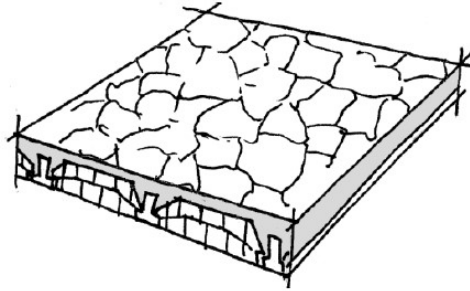


Figura 8. Fisuras en placa al iniciar la etapa de endurecimiento del concreto, generadas por una rápida pérdida de humedad (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).

1.1.1.4. Desprendimientos.

Son pérdidas parciales de la superficie del elemento estructural o de su acabado, pueden suceder por ocurrencia de fallas previas tales como humedades, grietas o deformaciones, los desprendimientos aparte de representar un daño estético o estructural al elemento, también se convierten en un riesgo para los peatones que transitan en vías adyacentes a la estructura por la caída de elementos, (Broto 2005, Monjo 2001).

1.1.1.5. Erosión mecánica.

Son desgastes o pérdidas de la superficie del elemento debidas a acción mecánica, tales como impactos o continuo rozamiento, se evidencia principalmente en pavimentos o fachadas, (Broto 2005, Monjo 2001).

1.1.2. Fallas por procesos físicos.

Estas fallas son originadas por la acción de factores meteorológicos sobre los elementos estructurales y no estructurales que principalmente se encuentran al exterior de las estructuras, estos procesos causan cambios principalmente en el tamaño y apariencia de los elementos sin involucrar un cambio químico de los materiales, dentro de los agentes externos que pueden afectar las estructuras se encuentran las heladas, la condensación, partículas del ambiente, el viento, entre otros, (Broto 2005, Monjo 1997).

1.1.2.1. Humedad.

Para Monjo (1997), “la humedad es la aparición de agua de forma incontrolable en elementos”, generando una variación de las características del material que lo constituye, esta puede manifestarse como goteras, manchas, malos olores, entre otros. De acuerdo con su fuente la humedad se divide en los siguientes tipos:

- De obra: corresponde con el agua residual utilizada en procesos constructivos que no alcanzó a evaporarse o la contenida dentro de los materiales, dicha humedad permanece dentro de los elementos por un lapso debido a sus acabados que funcionan como una barrera temporal pero que al cabo del tiempo esta termina saliendo a la superficie.
- Capilar: Es el agua que permanece en el terreno donde esta cimentada la estructura y que asciende a través de los elementos enterrados debido a su porosidad, generalmente este tipo de humedad aparece en la parte inferior de muros y pisos o elementos de sótanos.

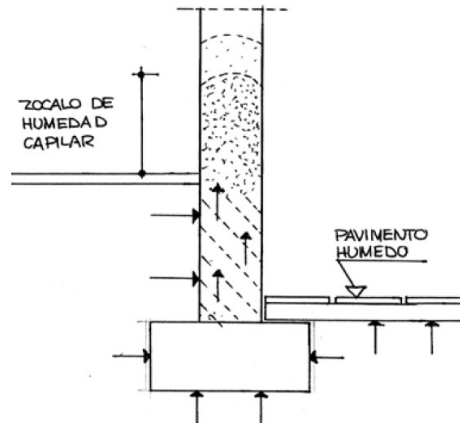


Figura 9. Ascensión de humedad a través de elementos enterrados (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).

- De filtración: “Es el agua que se cuela al interior de la estructura a través de elementos localizados en la fachada o cubierta, ya sea por su permeabilidad, aberturas o daños preexistentes”, (Broto 2005).

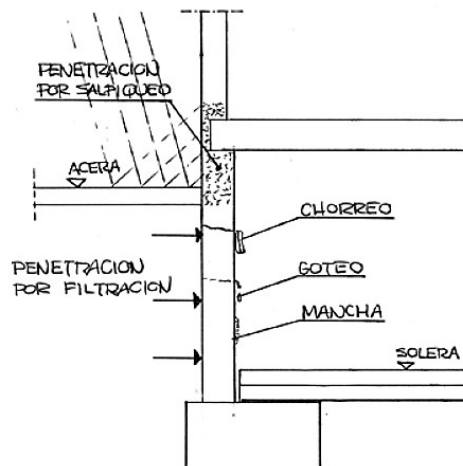


Figura 10. Filtración de agua a través de los muros (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).

- De condensación: se presenta generalmente en la cara interna de elementos de fachada, se genera cuando la superficie interior alcanza una temperatura inferior a la temperatura de rocío y generalmente

sucede en zonas donde existe producción de vapor tales como baños, y cocinas.

- Accidental: Es la forma más común de humedad y es aquella producida por la rotura de un conducto, que al romperse se manifiesta puntualmente en forma de mancha sobre la superficie y en forma de goteras, (Broto 2005)



Figura 11. Humedad debida a perdida de bajante de aguas lluvias (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).

1.1.2.2. Erosión.

Es la pérdida o transformación de la superficie del material que constituye el elemento debido a la acción de agentes atmosféricos, generalmente se le conoce como meteorización donde la acción del viento, el agua y el hielo transforman lentamente la superficie del elemento, (Broto 2005, Monjo 1997).

1.1.2.3. Suciedad.

Corresponde al depósito de partículas sobre la superficie de elementos estructurales y no estructurales expuestos a la intemperie o no, pueden diferenciarse dos tipos, (Broto 2005):

- Por depósito: acumulación de partículas suspendidas en la atmosfera debido a la acción de la gravedad.
- Por lavado: acumulación de partículas debido al arrastre del agua sobre la superficie.

1.1.3. Fallas por procesos químicos y biológicos.

Para Broto (2005) y Monjo (2001), son las fallas generadas por alteraciones de carácter químico y biológico, en este caso, agentes externos atacan la composición de los materiales y desarrollan alteraciones al elemento, se pueden distinguir 4 subgrupos:

1.1.3.1. Eflorescencias.

Para Broto (2005), “son un proceso patológico de carácter químico donde generalmente existe una falla previa de humedad”. Las sales solubles al agua que hacen parte del concreto, son arrastradas de adentro hacia afuera las cuales se cristalizan en la superficie del elemento, generando un mal aspecto y daños en el acabado, este proceso se conoce con el nombre de lixiviación, (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).

1.1.3.2. Corrosión.

Según Broto (2005) y Monjo (2001), es un tipo de ataque químico donde existe una transformación molecular con pérdida de material en la superficie de metales, sucede principalmente en el acero de refuerzo y las estructuras metálicas.

El acero de refuerzo puede ser atacado de dos formas, la primera de ellas es la filtración del agua a través de fisuras del concreto reforzado que se extienden hasta el acero de refuerzo y la segunda es la consecuencia de un ataque químico al concreto, donde se generan desprendimientos de la pasta dejando expuesto el acero de refuerzo.

En el caso de las estructuras metálicas, la corrosión se genera principalmente por la exposición del material a la humedad y falta de un sistema de protección o una deficiente barrera.



Figura 12. Corrosión de una estructura metálica (Broto, 2005).

1.1.3.3. Erosión química.

Para López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, (2004), “son ataques de sustancias solubles en agua, el ambiente o en suelos adyacentes a las estructuras, en este caso cuando la composición del cemento y sus agregados reaccionan químicamente con estas sustancias, el concreto es atacado produciendo no solo daños moleculares a sus compuestos sino también en su aspecto generando desprendimientos y otro tipo de afectaciones, dentro de este tipo de ataques se pueden distinguir el ataque álcali-agregado, el ataque por sulfatos y la carbonatación, en este último no solo se afecta el concreto sino también el acero de refuerzo”.



Figura 13. Daños por carbonatación en concreto reforzado (Broto, 2005).

1.1.3.4. *Biológicos.*

“Tanto los animales como los vegetales pueden afectar la superficie de los elementos, principalmente su ataque es del tipo químico al segregar sustancias que afectan los materiales, sin embargo en algunos casos afectan a los elementos en su estructura física” (Broto, 2005):

- **Animales:** afectan y deterioran los materiales de las estructuras, en algunos casos como la madera, esta puede alojar en su interior insectos xilófagos que se alimentan de ella, en otros casos, pequeños mamíferos y aves que depositan sus excrementos sobre las estructuras producen erosiones y corrosión en el caso de estructuras metálicas.



Figura 14. Ataque de insectos xilófagos a la madera (Broto, 2005).

- Vegetales: algunas plantas de gran tamaño afectan a las estructuras debido a la acción ejercida por sus raíces ya sea ejerciendo esfuerzos o drenando suelos adyacentes, en otros casos plantas microscópicas como mohos segregan sustancias que crean daños estéticos como cambios de color, olor y aspecto y el caso de los hongos que atacan la madera llegando a destruir el elemento por completo.

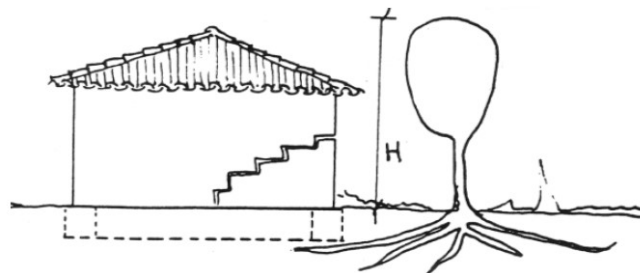


Figura 15. Daños producidos por las raíces de un árbol (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).

Capítulo II Metodologías de exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras

Las metodologías de exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras están encaminadas a definir un procedimiento, ya sea de reparación, rehabilitación o reforzamiento de una estructura con el fin de garantizar el estado inicial de seguridad y funcionalidad.

La clave de toda metodología es identificar adecuadamente el origen de la falla que habita en las estructuras, de esto depende la eficacia de los procedimientos definidos para subsanarlas, sin embargo todo inicia con una adecuada recopilación de información y de unas acciones apropiadamente definidas encaminadas para su exploración.

Dentro de la literatura u otras publicaciones, se han definido una serie de metodologías y protocolos para los estudios patológicos de las edificaciones. A continuación, se hará referencia a algunas de las metodologías descritas por varios autores que brindan una secuencia organizada para llevar a cabo este tipo de estudios que pueden ser empleadas en la mayoría de estructuras.

2.1. Metodología descrita por Paulo Helene

Helene (2015), en su “Manual de reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto” nos indica que “el diagnóstico adecuado y completo es aquel que esclarece todos los aspectos del problema”, de los cuales se distinguen en:

- **Síntomas:** son las manifestaciones externas características, a partir de las cuales se puede deducir su naturaleza, el origen y los mecanismos de los fenómenos involucrados, así como definir sus probables consecuencias.
- **Mecanismo:** es el proceso a través del cual ocurre todo problema patológico.
- **Origen:** es donde nace o se genera la patología, hablando de las etapas del proyecto constructivo.

- **Causas:** son los agentes causantes de los problemas patológicos, los cuales pueden ser cargas, variaciones de humedad, variaciones térmicas intrínsecas y extrínsecas, agentes biológicos, incompatibilidad de materiales, agentes atmosféricos y otros.
- **Consecuencias:** es el pronóstico del problema, un buen diagnóstico se completa con algunas consideraciones sobre las consecuencias del problema en el comportamiento general de la estructura, generalmente se dividen en aquellas que afectan las condiciones de seguridad de la estructura y las que componen las condiciones de higiene, estética, entre otras.
- **Terapia:** son las medidas de corrección de los problemas, pueden ser pequeñas reparaciones localizadas, una recuperación generalizada de la estructura o refuerzo de la cimentación, columnas, vigas o losas.
- **Procedimiento:** son la selección de materiales y técnicas de corrección a emplear dependiendo del diagnóstico del problema, de la zona a ser corregida y de las exigencias del funcionamiento del elemento que será objeto de la corrección.

2.2. Metodología descrita por Fernando López, Ventura Rodríguez, Jaime Santa Cruz, Ildefonso Torreño y Pascual Ubeda

López, F., Rodríguez, V., Santa Cruz J., Torreño I., Ubeda P. (2004) en su “Manual de patología de la edificación” establecen un paralelo entre la actuación de un médico respecto de la aparición de una enfermedad o patología en el ser humano y las actuaciones que debe efectuar el patólogo de la edificación cuando se presenta una patología o lesión en una estructura, en la figura 16 se presenta la síntesis de dichas actuaciones.

- **Fase de estudio:** se examina organolépticamente o con el auxilio de instrumentos que nos ayuden en el análisis, la patología presentada para establecer los siguientes parámetros:

1. Detección de la patología de la forma más inmediata posible para evitar acciones que se pueden agravar con el tiempo.
2. Acotación del área de influencia del problema determinando elemento o sistema constructivo afectado.
3. Análisis detallado de la lesión para determinar la fuente de la misma.

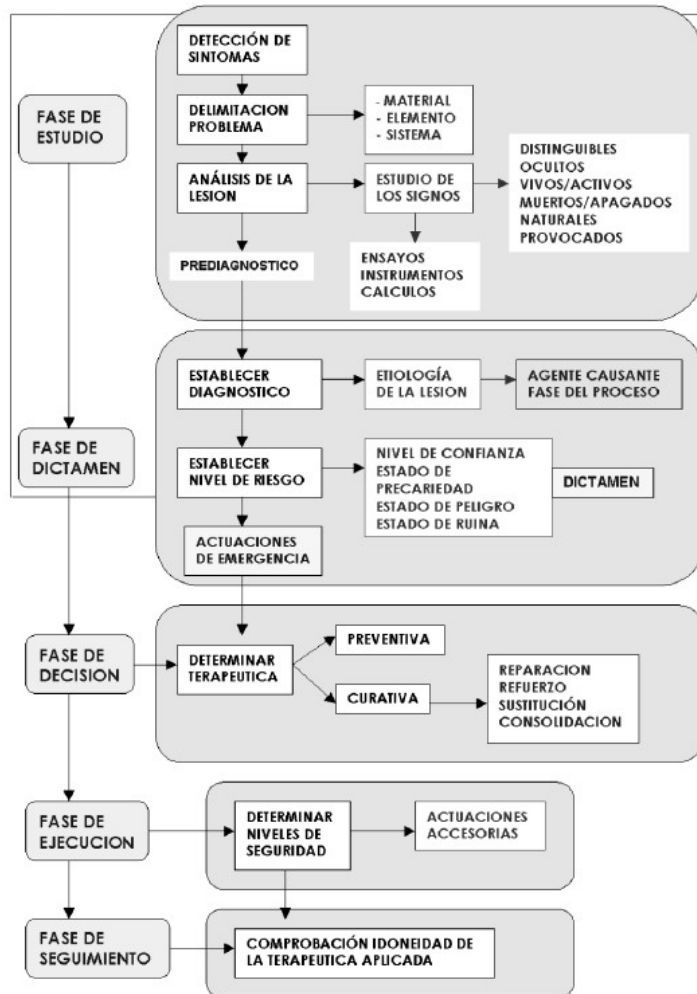


Figura 16. Proceso de las actuaciones ante la patología estructural en la edificación (López, Rodríguez, Santa Cruz, et al, 2004).

- **Fase de dictamen:** se efectúa el diagnóstico del tipo de lesión y la clasificación de la importancia que pueda tener a los efectos de la gravedad de la repercusión sobre el edificio, se establecen dos parámetros a partir de la sintomatología de la lesión:
 1. Determinar el origen del problema en cuanto a la causa específica que lo ha causado y el agente que lo genera así como establecer la fase del proyecto donde se originó mediante la elaboración de una hipótesis diagnóstica, corroborar la hipótesis mediante pruebas y ensayos que permitan su validación.
 2. Clasificar el nivel de gravedad del daño en cuanto a posibles repercusiones posteriores, dependiendo si se encuentra dentro de un estado de confianza (no presenta riesgo para el elemento o el edificio), estado de precariedad (se detectan carencias que no ponen en peligro la funcionalidad o habitabilidad), estado de peligro (se deduce que el elemento o estructura es incapaz de soportar cargas debidas a su uso o a agentes externos como el viento, granizo, sismo, etc.) y estado de ruina física (cuando debido a la gravedad de los daños, el edificio pierde su integridad y sus condiciones básicas).

- **Fase de decisión:** como resultado de las dos anteriores fases, se llega a una de las siguientes conclusiones encaminadas a subsanar las fallas:
 1. Reparación: recuperación de elementos o sistema dañado para desempeñar las mismas funciones que tenía originalmente dentro del edificio, sin que esto implique una sustitución o variación conceptual del elemento dentro del sistema constructivo.
 2. Refuerzo: se aplica principalmente a elementos estructurales cuando la resistencia del elemento se encuentra comprometida para soportar las solicitaciones encomendadas, manteniendo las condiciones básicas de su diseño inicial.
 3. Sustitución: esta actuación se llevará a cabo cuando se haya producido un agotamiento del elemento por daños de carácter irreversible, o por

peligro de mantenerlo por poderse convertir en foco de extensión a otros elementos contiguos o con los que trabaje conjuntamente.

4. Consolidación: cuando la extensión del problema o la función que cumple el elemento puede dañar el resto de todo un sistema constructivo, se hace preciso un tratamiento integral, este tipo de actuación puede implicar la mezcla de varias actuaciones, por lo tanto para una consolidación a veces será necesario efectuar reparaciones, sustituciones y refuerzos.

- **Fase de ejecución:** de acuerdo con las decisiones tomadas en la fase anterior, se efectuarán las obras encaminadas (terapéutica) para subsanar la patología, teniendo en cuenta el riesgo que pueden presentar los daños presentados.
- **Fase de comprobación:** una vez las patologías hayan sido eliminadas y el edificio haya sido devuelto a sus condiciones básicas, es imprescindible un seguimiento para comprobar que el diagnóstico emitido y la terapéutica aplicada han tenido resultados positivos.

2.3. Metodología descrita por Juan Monjo

Para Monjo (1997), en su publicación "Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos", el encuentro con un proceso patológico suele tener como objetivo su solución, la cual, implica la reparación de la unidad constructiva dañada para devolverle su misión inicial, para autor, "un estudio patológico es un análisis, el cual tiene que seguir una línea inversa al proceso, yendo del efecto a la causa, dicho análisis debe ser metódico y exhaustivo, como si se tratara de una investigación criminal".

Las diversas etapas deben ser:

- **Observación de los daños que se manifiestan como un proceso patológico**, en esta etapa se debe detectar el daño, identificar el daño e independizar daños de otros procesos distintos.

- **Toma de datos**, lo cual implicaría en unos casos una serie de visitas y en otros la aplicación y el seguimiento de una serie de instrumentos de análisis y evolución del daño, en algunos casos instrumentos de medida, pero siempre la utilización de fotografías para plasmar la falla en un momento dado. Dentro de estos datos se pueden distinguir aquellos que permiten identificar el daño, los constructivos relacionados con los materiales o elementos afectados y los ambientales.
- **Análisis del proceso**, al terminar la toma de datos incluyendo posibles resultados de laboratorio, se puede iniciar la “reconstrucción de los hechos” donde se inicia el análisis del proceso patológico con el fin de alcanzar un diagnóstico, el cual establece unas causas diferenciando las directas e indirectas, la evolución del proceso patológico y establece su estado actual indicando su posible vigencia o su desaparición.
- **Propuesta de actuación**, de acuerdo con la etapa anterior se puede proceder a definir una propuesta concreta de actuación para devolver la función constructiva al elemento, dicha propuesta se puede encaminar en reparación y en mantenimiento. La propuesta de reparación se debe dirigir a las causas y al efecto y en el caso de la propuesta de mantenimiento, esta debe contemplar revisiones periódicas visuales, reposición periódica del material de acabado y limpieza periódica de superficies y elementos drenantes.

2.4. Metodología descrita por Carles Broto

Para Broto (2005), en su “Enciclopedia Broto de patologías de la construcción”, el análisis del estudio de patología debe ser preciso, por lo tanto se debe **adoptar** un método sistemático de observación y toma de datos y **limitar** las posibles ideas preconcebidas, es decir contener la intuición profesional”.

Por otro lado se debe analizar la capacidad resistente, la integridad, la forma y el aspecto de la estructura, para lo cual propone las siguientes fases:

- **Observación:** mediante la observación visual in situ, se pueden obtener bastantes datos los cuales se complementarán con otros estudios:
 1. Detectar la lesión
 2. Identificar la lesión
 3. Aislar la lesión

- **Toma de datos:** en la visita previa se debe recolectar la mayor cantidad de información respecto a la propiedad, quien la diseño y construyo, establecer su estado actual de conservación y mantenimiento, es conveniente realizar esquemas y reportes fotográficos, adicionalmente se debe contar una completa documentación que incluya información histórica, administrativa y urbanística, posteriormente es importante realizar un levantamiento planimétrico con información de plantas, alzados, detalles constructivos, entre otros.

- **Inspecciones técnicas:** es necesario contar con muestras de materiales para establecer su avance del deterioro por medio de ensayos, para esto se debe establecer un plan de muestreo adecuado, marcar en el plano la posición y el lugar de donde se extrae la muestra, etiquetar todas las muestras, los ensayos que se deben realizar a las muestras son:
 1. Ensayos físicos
 2. Ensayos mecánicos
 3. Ensayos químicos
 4. Ensayos medioambientales
 5. Ensayos biológicos
 6. Ensayos ambientales

- **Análisis del proceso:** de acuerdo con la información recopilada se podrán determinar:
 1. Causas del daño, las cuales pueden ser directas o indirectas
 2. Diagnostico
 3. Evolución y seguimiento, una vez se haya establecido un diagnóstico, se podrá determinar la evolución del proceso patológico así como

realizar un seguimiento de los daños a través de los registros periódicos que se han tomado.

- **Actuación:** después de cumplir con las fases anteriores, será posible establecer las propuestas de reparación y propuestas de mantenimiento.

2.5. Metodología descrita por Harold Muñoz

Según Muñoz (2005), “no resulta fácil definir una metodología para la evaluación y diagnóstico de una estructura, de igual forma indica que tampoco es fácil señalar una única interpretación para un tipo de deterioro”, por lo tanto brinda algunos criterios que apoyan la labor de diagnóstico con el fin de lograr una mejor interpretación de los daños que se manifiestan en una edificación:

- **Tipos de inspección,** dependiendo del tipo de alcance que desarrolle el estudio se tiene la inspección preliminar, la inspección detallada, inspección especial e inspección rutinaria o de mantenimiento.
- **Investigación documental,** relacionada con diseño arquitectónico, diseño estructural, estudio de suelos, planos y esquemas de diseño o construcción de la estructura que pueda existir.
- **Metodología del levantamiento grafico de patologías,** se trata de representar gráficamente el tipo de daño o defecto teniendo en cuenta su localización.
- **Recuento fotográfico,** corresponde al levantamiento fotográfico de los daños teniendo en cuenta como referencia el lugar del defecto.
- **Planeamiento y definición de ensayos,** a partir de los recorridos iniciales, se plantean la localización y el tipo de ensayos a realizar.
- **Diagnóstico de patologías,** a partir de la información recopilada y la identificación de las patologías, se plantea el diagnóstico con la explicación que mejor ilustre el origen de los daños.
- **Descripción del sistema estructural, identificación del sistema de soporte de la estructura.**
- **Elaboración del informe de la inspección detallada,** será elaborado a partir del tipo de estudio que se ejecute, no obstante deberá tener un lenguaje claro, sencillo y específico soportado en conceptos técnicos y científicos.

2.6. Metodología descrita por Patricia Díaz

Díaz (2014), indica que “es necesario unificar criterios para orientar la práctica de los especialistas de la patología de la construcción en Colombia” por lo tanto nos indica una secuencia de actuación en los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado de mediana altura:

- *Investigación preliminar*

1. Fase de documentación: Información general
2. Fase observación de campo: se detecta la lesión, se identifica la lesión, desviaciones visibles y deformaciones intencionales, asentamientos en la cimentación, nivel freático, geometría y materiales estructurales, cargas y medio ambiente, vicios ocultos (defecto no fácilmente reconocible), se determinan pruebas no destructivas y se realiza un registro fotográfico.
3. Fase de toma de datos: descripción del sistema estructural, levantamiento planimétrico, levantamiento grafico de daños, recuento fotográfico, fichas de calificación de daño y planeamiento y definición de ensayos de materiales.
4. Informe preliminar

- *Investigación detallada*

1. Fase documentación: Información del diseño, información de la construcción.
2. Fase observación de campo: preparación y planificación, la verificación de la construcción conforme a la obra y condición de valoración de la estructura.
3. Fase muestreo y material de prueba: prácticas y procedimientos para evaluar el estado y propiedades de los materiales, técnicas de muestreo.
4. Fase de evaluación: Evaluación del análisis de los procesos patológicos, evaluación de la capacidad estructural, evaluación de alternativas de rehabilitación y evaluación de los costos.
5. Informe final: Finalidad y alcance de la investigación, la construcción existente y documentación, las observaciones de campo y encuestas

condición, el muestreo y ensayos de materiales, evaluación (resultados de la capacidad estructural, estimación de costos, impacto del método de reparación), conclusiones y recomendaciones.

2.7. Propuesta de metodología de investigación de fallas y defectos de estructuras

De acuerdo a las metodologías presentadas, la literatura y con base en la experiencia, se propone una metodología general la cual, por medio de la identificación y definición del problema, la recolección de información y el análisis de esta, se desarrolla una o varias hipótesis, la(s) cual(es) debe(n) ser confirmada(s) de forma que explique sin lugar a dudas, el origen y el proceso de evolución de las fallas o defectos encontrados, para luego establecer una estrategia encaminada a subsanar la patología y recuperar la funcionalidad o seguridad básica de la estructura objeto de estudio.

Dentro de cada etapa de la metodología propuesta, se han definido algunas variables que pueden llegar a ser opcionales dependiendo de la magnitud y del tipo de proyecto, por tanto queda a juicio del lector la necesidad de su desarrollo en su proyecto de investigación, las etapas propuestas para la investigación son:

2.7.1. Planificación de la investigación (visita preliminar)

Por medio de una visita preliminar y del primer encuentro con el cliente se debe aclarar una serie de aspectos encaminados a la definición del proyecto de investigación.

- Definir alcance, finalidad de la investigación y limitaciones, reconocer las condiciones del sitio de trabajo (puede ser una obra en ejecución) y establecer riesgos (puede existir peligro latente de la estructura).
- Definir idoneidad para el proyecto de investigación, el profesional encargado del proyecto de investigación debe hacerse las siguientes

preguntas: ¿Tengo las habilidades?, ¿Tengo los recursos suficientes?, ¿Tengo algún tipo de conflicto de interés?, esta última es importante ya que muchos de los estudios de patología representan un recurso clave para una futura reclamación que generalmente es económica, (Verbiest, 2018).

- Definir grupo de trabajo y equipos de acuerdo con la magnitud y el tipo de estructura.

Entregable físico: Descripción del proyecto

2.7.2. Recopilación de información (visita de campo)

A partir de una o una serie de visitas de campo (las que sean necesarias) se recopila la información relacionada con el proyecto y la falla o defecto de la estructura.

- Recopilación de diseños originales (dependiendo del proyecto de investigación), representados por memorias de cálculo, planos (preferiblemente versión final de como quedo construido) arquitectónicos, estructurales, hidráulicos y otras especialidades, esquemas o detalles constructivos (hay temas que se resuelven en etapa constructiva que no se formalizan), estudios adicionales tales como geotécnicos, hidráulicos, levantamientos topográficos, entre otros y resultados de algún tipo de ensayos o pruebas realizadas en etapa constructiva a los que podamos tener acceso; se recomienda realizar una copia magnética de toda la información.
- Identificación de fallas o defectos por medio de los diferentes sentidos, observar daños, desniveles, olores (en ocasiones las humedades no se ven pero hay un olor característico a moho), asentamientos, deterioro en acabados, ruidos o cualquier tipo de fallas que puedan estar presentes en las estructuras.

Realizar un registro fotográfico de las fallas o defectos encontrados, siempre dentro de un contexto, generalmente se toma una foto de lejos y luego una de cerca haciendo énfasis en la falla.

Consignar cada falla o hallazgo dentro de una ficha que tenga fecha, descripción, sitio de la estructura donde se encontró el elemento afectado.

Marcar las fallas o defectos encontrados en una planta estructural o arquitectónica, de esta forma se puede identificar si se trata de daños localizados o generalizados en la estructura.

- Mediciones y ensayos no destructivos, en algunos casos es necesario realizar mediciones tales como toma de niveles, revisar verticalidad de elementos (plomos), dimensiones de elementos, levantamiento topográfico, medición de fisuras, registros de temperatura o humedad del ambiente, así como la ejecución de ensayos no destructivos que permitan obtener más información de la estructura objeto de estudio.

En algunas ocasiones las mediciones se prolongarán más de un día y la estructura puede entrar en un estado de observación por un lapso de tiempo, ya sea para medir procesos activos u otro tipo de manifestaciones detectadas.

- Verificación de construcción conforme al diseño original, en algunos casos es necesario corroborar que los elementos que se encuentran en sitio correspondan con los planteados en el diseño original. Algunas veces se puede encontrar que por disponibilidad de inventarios sea necesario sustituir perfiles metálicos, en otros casos se puede detectar cambios de acabados que no necesariamente se ajustan a las condiciones ambientales y otra serie de modificaciones que se deciden en la ejecución de la obra.

- Tomas de muestras y ensayos destructivos (opcional), en algunos casos es necesaria la toma de muestras y la realización de ensayos destructivos con el fin de completar la información relacionada con la calidad de los materiales, exploraciones a elementos que no se encuentran a la vista (acero de refuerzo), inspecciones a elementos de cimentación, entre otros. Queda a juicio del profesional dependiendo del tipo de proyecto la implementación de esta actividad.
- Entrevistas al personal de mantenimiento, operarios de la obra (si está en ejecución), residentes en viviendas, entre otros, pueden brindarnos información clave de algún evento desafortunado, procedimiento o labor desarrollada en sitio. En este caso se recomienda usar este tipo de información para corroborar alguna teoría pero no para formularla, ya que si se parte de ella puede llevar a desarrollar una serie de actividades que no conduzcan a una conclusión.

Entregable físico: relación de la información técnica recopilada metodológicamente organizada y archivada, inventario de fallas o defectos con su localización dentro de la estructura, registros de mediciones, levantamiento dimensional de elementos estructurales o no estructurales (según se requiera), resultados de ensayos, registro escrito de las entrevistas.

2.7.3. Hipótesis (desarrollo y análisis)

En esta etapa el profesional planteará la o las hipótesis que probablemente expliquen las fallas o defectos presentados, adicionalmente deberá analizarlas y validar cada una de ellas.

- Desarrollo de la hipótesis, a partir de la información recopilada, se plantean teorías que expliquen el origen y los mecanismos de las fallas y defectos.

Se debe tener en cuenta que cada proyecto es diferente, por lo tanto es necesario prestar atención para evitar que suposiciones puedan influir en el desarrollo de las teorías, la experiencia de proyectos pasados es muy valiosa pero se debe dosificar.

- Análisis de hipótesis, se realiza una confirmación de la o las hipótesis planteadas a partir de cálculos matemáticos, resultados de los ensayos de campo, o razonamiento lógico (la humedad se debe a una abertura que existe en la cubierta y no por otra razón), si después del ejercicio no es posible validar alguna de las teorías es necesario retomar la etapa de recopilación de información, para establecer nuevas hipótesis que permitan llegar a una solución del problema.

En esta etapa será necesario validar la información recopilada con los resultados de los ensayos, probablemente sea necesario la elaboración de modelos estructurales que permitan validar teorías de comportamiento estructural.

Entregable físico: La o las hipótesis que expliquen el origen y el mecanismo de las fallas o defectos presentados, validadas por medio de ensayos o modelos matemáticos.

2.7.4. Actuación (mantenimiento o sustitución, reparación o reforzamiento)

A partir de la o las hipótesis planteadas, se elabora una estrategia, ya sea para el mantenimiento o para la sustitución, reparación o reforzamiento ya sea de los elementos o la estructura afectada por las fallas o defectos, se recomienda la inclusión de un presupuesto de las actividades y sus costos para que el cliente evalúe la relación costo versus beneficio de los trabajos a realizar, para recuperar la funcionalidad o seguridad básica de la estructura.

Entregable físico: Alternativas o alternativa de mantenimiento o sustitución, reparación o reforzamiento, cálculos o modelos matemáticos, planos de detalles constructivos, especificaciones técnicas de construcción de cada ítem y presupuesto.

2.7.5. Informe final

En este informe se realiza la recopilación de cada uno de los entregables generados en cada etapa, se debe manejar un lenguaje técnico sustentado con la normatividad vigente pero que sea claro y preciso, de tal forma que lo pueda entender cualquier lector, no solo Ingenieros.

Entregable físico: Informe final con conclusiones y recomendaciones.

2.7.6. Seguimiento

Realizar una o varias visitas posteriormente a la implementación de estrategias para subsanar las fallas y defectos, durante un lapso de tiempo (dependerá del tipo de estructura, falla y de cada caso en particular) que permita establecer su eficacia y realizar correcciones o recomendaciones adicionales si es el caso.

Entregable físico: Correcciones o recomendaciones adicionales.

Capítulo III Casos de fallas y defectos de estructuras en Colombia

3.1. Remodelación dormitorios – Pandeo de elementos cercha metálica existente

Descripción del proyecto

En un edificio de un piso destinado para alojar tropas, construido aproximadamente hace unos 20 años, la cubierta constituida por teja de asbesto - cemento estaba construida a dos aguas con una pendiente de 26% aproximadamente y era soportada por cinco cerchas metálicas tipo Warren, separadas 6.0 m entre sí y una luz libre entre apoyos para cada cercha de 12.0 m, dichas cerchas estaban conformadas por perfiles angulares y varillas redondas en acero ASTM A-36, ver figura 17.

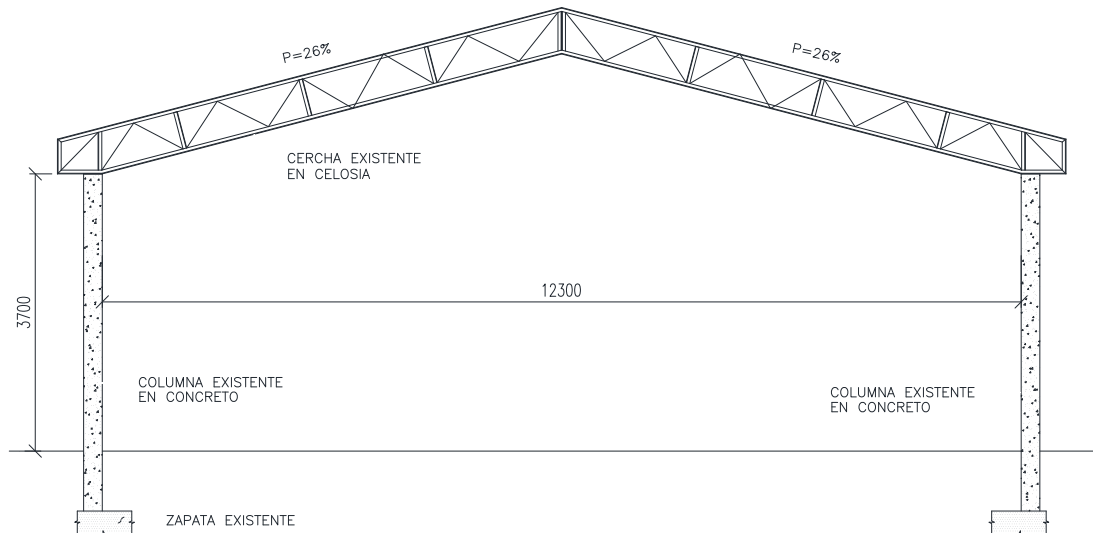


Figura 17. Corte transversal cercha existente (archivo propio)

Dicha estructura fue seleccionada para remodelación, adecuación e implementación de energías limpias, para lo que se contempló la instalación de cuatro paneles solares de 2.20 m x 30.0 m sobre la cubierta para brindar autosuficiencia energética al edificio y la instalación de un cielo raso tipo drywall en su interior, sin embargo el proyecto no tenía interventoría y el ingeniero residente de la obra no realizó la respectiva revisión estructural, haciendo caso omiso a la recomendación de su calculista, pues consideraba que no se justificaba pagar un estudio estructural teniendo en cuenta que solo iba a incluir “un drywall y unos paneles”.

Fallas o defectos

El constructor realizó la instalación de los paneles solares de la cubierta sin novedad, posteriormente realizó la instalación del cielo raso el cual fue finalizado en una de las jornadas, sin embargo al día siguiente al inicio del turno laboral se detectó una deformación excesiva en el cielo raso, dicha falla obligo al inmediato desmonte de las láminas de yeso que conformaban el cielo raso detectándose a primera vista una serie de riostras verticales y diagonales de la cercha pandeadas, específicamente las cercanas al apoyo al igual que el cordón superior de la cercha, ver figura 18.

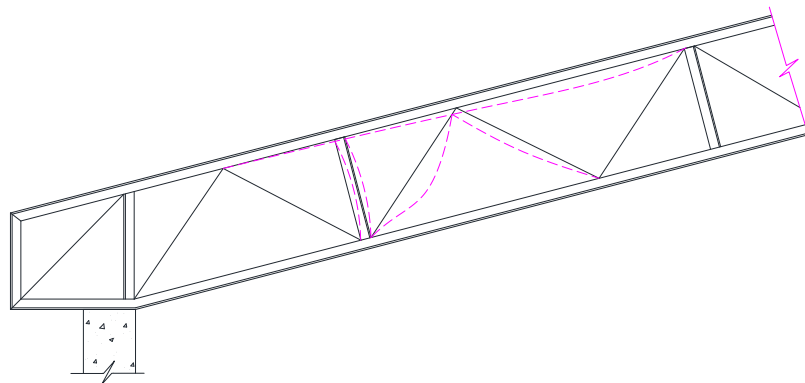


Figura 18. Esquema de falla (archivo propio)

Causa probable

Tan pronto se presentó el evento, el ingeniero residente llamo a su calculista para revisar la falla y para que le recomendara las acciones necesarias para poder continuar con la remodelación, el calculista había tenido oportunidad de visitar la obra antes del inicio de los trabajos y no había evidenciado daños ni deformaciones excesivas de los elementos de cubierta.

Por lo tanto y de acuerdo con lo anterior, la causa más probable se puede relacionar con el aumento de la carga muerta sobre los elementos estructurales de la cercha, en este caso la carga aumentó aproximadamente un 239%.

Carga muerta original:

Teja asbesto – cemento	0.20 kN/m ²
Peso propio cubierta	0.18 kN/m ²
Total:	0.38 kN/m ²

Carga muerta remodelación:

Teja asbesto – cemento	0.20 kN/m ²
Cielo raso en drywall	0.25 kN/m ²
Instalaciones	0.05 kN/m ²
Paneles solares	0.23 kN/m ²
Peso propio cubierta	0.18 kN/m ²
Total:	0.91 kN/m ²

Carga viva original:

Cubierta pendiente de 26% 0.35 kN/m²

Carga axial (D+L) original sobre primera riostra vertical:

$$P_o = (0.38 \text{ kN/m}^2 + 0.35 \text{ kN/m}^2) \times (6.0 \text{ m} \times 5.7 \text{ m}) = 24.97 \text{ kN}$$

Carga axial muerta remodelación sobre primera riostra vertical:

$$P = 0.91 \text{ kN/m}^2 \times (6.0 \text{ m} \times 5.7 \text{ m}) = 31.0 \text{ kN}$$

La causa probable se confirma al evaluar la resistencia a compresión de la primera riostra vertical constituida por un ángulo de L1-1/4"x1/8", cuya carga actuante de 31.0 kN solamente por carga muerta supera en 1.26 veces su resistencia a compresión $P_n = 24.7\text{kN}$, evidenciando que los perfiles existentes no están en capacidad de resistir cargas muertas adicionales a las ya existentes, lo cual sucedería de forma similar si se evalúan las diagonales de perfil tipo varilla redonda teniendo en cuenta su mayor esbeltez para soportar las cargas actuantes.

Por otro lado, se observa que al mayorar las cargas originales, la carga última correspondiente a 34.74 kN también superaría la carga admisible de las riostras verticales, indicando que es probable que desde un principio la cubierta no estaba diseñada para soportar las cargas originales, de hecho no se encontró registro de memorias de cálculo ni planos de diseño de la estructura.

Solución propuesta

En este caso al ser evidente la incapacidad de las cerchas para soportar las nuevas cargas, se proponen las siguientes soluciones que deberían realizarse simultáneamente:

Aligerar la carga muerta reemplazando la cubierta en asbesto cemento por teja liviana metálica sencilla tipo "standing seam" la cual, representa un 40% del peso de la teja original e instalar pórticos metálicos conformados por vigas y columnas metálicas en perfil tipo alma llena debajo de cada cercha, estos pórticos se encargarán de transmitir la carga proveniente de la cubierta a la cimentación, ver figura 19.

Adicionalmente fue necesario reemplazar los elementos que presentaban falla, así como instalar un elemento de refuerzo adosado a las riostras existentes.

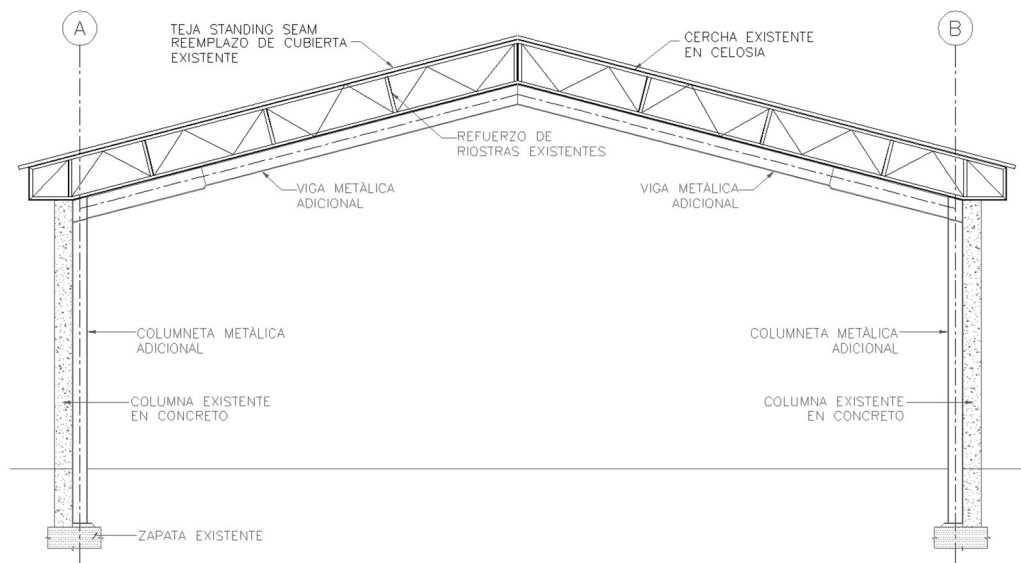


Figura 19. Esquema de alternativa de solución (archivo propio)

Enseñanzas

- Los constructores deben ser conscientes de que antes de realizar cambios de una estructura como es la adición de elementos nuevos, se debe verificar la capacidad de esta para responder ante nuevas cargas.
- Es conveniente contar con un concepto estructural que permita la viabilidad para soportar nuevas cargas antes de realizar una remodelación que pueda afectar elementos estructurales.
- Es importante contar con un archivo de planos de las diferentes estructuras en alguna de las dependencias de cada institución, esto permite conocer de primera mano los criterios iniciales utilizados para el diseño de una estructura.
- En este caso, el tipo de material del que estaban fabricadas las cerchas permitió evidenciar una falla antes de su puesta en uso, de no ser así podría haber afectado a sus ocupantes y no limitarse a un costo económico en etapa de construcción.

3.2. Casa administrador casa campestre – Asentamiento diferencial

Descripción del proyecto

En el área rural de un municipio de la sabana de Bogotá, existe una casa campestre destinada a vivienda permanente, adjunta a esta construcción existe una casa para el cuidador de la propiedad y su familia, aproximadamente la casa del cuidador se había construido diez años atrás respecto a la época de la inspección.

Dicha construcción contaba con un área construida de 95 m², incluyendo los corredores exteriores y el patio de ropas, fue diseñada bajo las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98, al parecer por el mismo arquitecto que ejecutó la obra, pues en el rótulo de los planos no se encontró registro de otros profesionales involucrados en el proyecto. El sistema estructural estaba constituido por muros de mampostería (no reforzada) en ladrillo tolete recocido, sobre una viga de amarre de sección 0.20 m x 0.30 m de concreto reforzado que a su vez, se apoyó sobre un bloque de concreto ciclópeo. La construcción contaba con una placa de contrapiso de concreto reforzado de 0.10 m de altura, sobre dicha placa estaba instalado un piso de cerámica al interior de la casa y un tablón de gres en los corredores externos y el patio de ropas. Adicionalmente, los muros soportaban una cubierta en teja de barro que se encontraba apoyada sobre correas y vigas de madera y en la zona del baño estaba dispuesta una placa de cubierta que albergaba un tanque de 500 L.

La casa se había construido sobre un terreno con pendiente, por lo tanto en la fachada principal el nivel de la placa de contrapiso coincidía con la vía de acceso, pero en la fachada posterior, existía un muro en piedra con una altura aproximada de 1.0 m, el cual contenía el relleno donde se apoyaba la casa.



Figura 20. Fachada principal casa mayordomo (archivo propio)

Fallas o defectos

El propietario de la finca invitó a un ingeniero estructural para que realizara una inspección a la casa del cuidador y le planteara una solución a una serie de fisuras que estaba presentando la casa en los muros de mampostería y el piso.

El ingeniero atendiendo la solicitud del propietario se desplazó al sitio del proyecto para realizar una inspección visual de la construcción, en dicha visita se realizaron los siguientes hallazgos:

- Fisuras y grietas entre 1.0 mm y 15 mm en los muros de mampostería, en forma de diagonal con rotura de unidades de mampostería y en forma escalonada siguiendo una ruta a través del mortero de pega, las fisuras se encontraban tanto en la fachada principal como en la posterior, ver figura 21 a 23.



Figura 21. Grieta en fachada principal costado oriental (archivo propio)



Figura 22. Grieta en fachada posterior costado occidental (archivo propio)



Figura 23. Fisuras y grietas fachada principal costado occidental (archivo propio)

- Fisuras en el acabado de piso al interior de la vivienda, al parecer esa fisura trazaba una falla a lo largo de toda la casa en las diferentes habitaciones y espacios, ver figura 24.



Figura 24. Fisuras en piso de acabado a lo largo de toda la casa (archivo propio)

- Fisuras, grietas y desplazamiento de placas de piso en el corredor de la fachada posterior (patio), se encontró desplazamiento lateral del piso respecto a los muros del orden de 2 a 3 cm el cual ha sido rellenado con mortero como

un intento de reparación, adicionalmente se encontró desplazamiento vertical de unos 2 cm aproximadamente y piezas fracturadas, ver figura 25 a 28.



Figura 25. Desplazamiento de placa de piso respecto al muro (archivo propio)

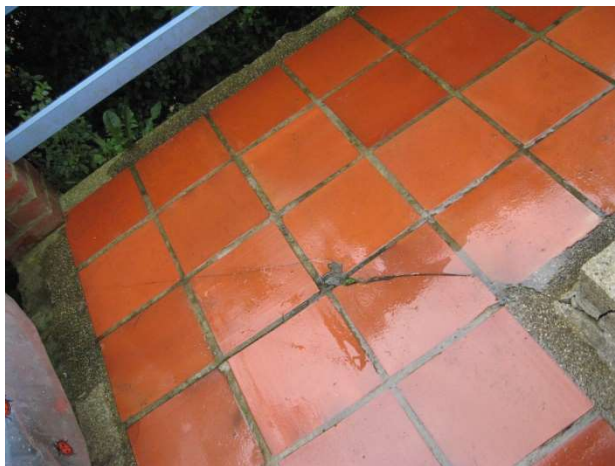


Figura 26. Punzonamiento de placa de piso debida a apoyo de borde de muro (archivo propio)



Figura 27. Grieta en placa de piso fachada posterior (archivo propio)



Figura 28. Fisura alrededor de caja de inspección (archivo propio)

- En el patio de ropas se encontró que al parecer ya no coinciden las perforaciones de conexión de una de las correas con su apoyo, en otra de las correas se encontró que fue necesario instalar un apoyo temporal para evitar el riesgo de caída de la misma, al parecer los muros del patio de ropas sufrieron

un desplazamiento lateral en dirección de las fachadas laterales, ver figura 29 y 30.



Figura 29. Perforaciones de conexión de correa fuera de lugar (archivo propio)



Figura 30. Apoyo temporal de correa de borde (archivo propio)

- Gotera en el techo, por desprendimiento de material de pega entre teja y muro, ver figura 31.



Figura 31. Gotera a lo largo de muro del baño (archivo propio)

- Desplazamiento lateral de muro de contención en piedra construido en la fachada posterior, se encontró un desplazamiento de 5.50 cm en la parte superior, adicionalmente se observó desprendimiento de piedras en el muro lateral que conecta con dicho muro, ver figura 32 y 33.



Figura 32. Desplazamiento lateral de muro en piedra (archivo propio)



Figura 33. Registro del desplazamiento medido en sitio (archivo propio)

- De los planos recopilados se encontró un detalle que indicaba la construcción de columnetas de confinamiento en las esquinas de muros y aberturas de puertas y ventanas, sin embargo en sitio no se evidenciaron dichas columnetas, ver figura 34.

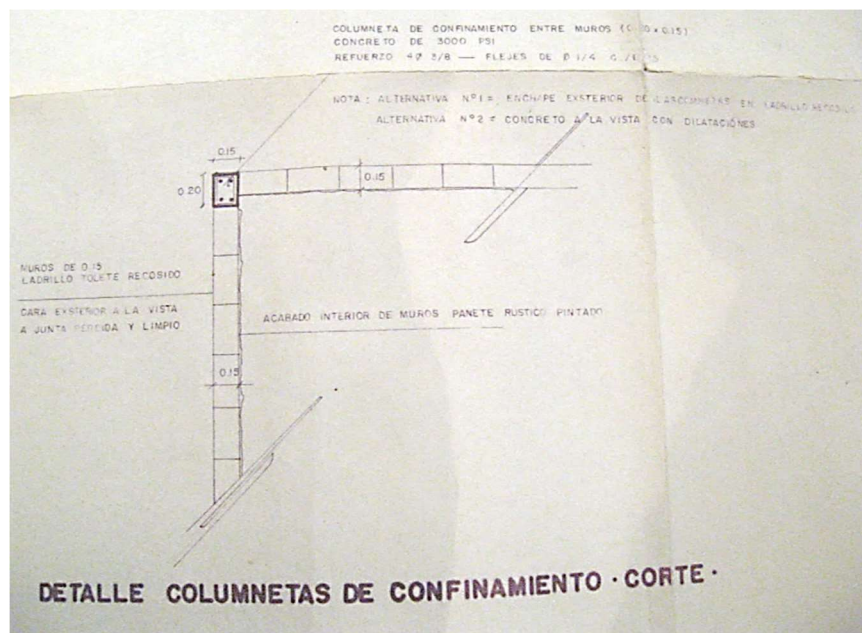


Figura 34. Detalle estructural no ejecutado en obra (archivo propio)

- Al parecer otro profesional ya había realizado una visita para evaluar los daños, se encontró un apique donde se evidenció una altura de bloque de

ciclópeo de 30 cm debajo de uno de los muros de la fachada principal, dicho bloque estaba apoyado sobre un recebo que a su vez había sido instalado sobre el estrato de tierra negra con raíces, ver figura 35.



Figura 35. Apique viga de cimentación fachada principal (archivo propio)

- De acuerdo con los registros tomados en sitio, lo construido contradecía los detalles encontrados en los planos, ya que uno de ellos describía una placa continua de ciclópeo de 35 cm de altura y en otro detalle a mano alzada indicaba que existía un bloque de ciclópeo con una altura de 60 cm, no hubo información respecto a quien realizó el dibujo a mano alzada, ver figura 36.

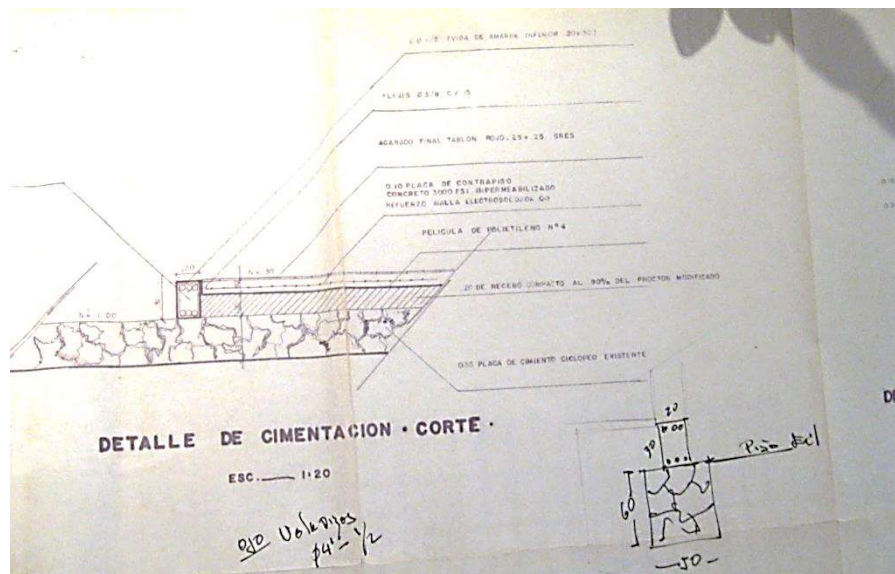


Figura 36. Detalles constructivos de cimentación (archivo propio)

- Se evidenció un asentamiento diferencial del orden de 3.5 cm medidos entre la fachada principal y la fachada posterior.
- Se encontraron fisuras en la junta entre el acabado de piso y el muro sobre la fachada principal.
- No se encontraron canales de aguas lluvias o bajantes que condujeran el agua a cajas de drenaje, el agua lluvia cae de la teja a los corredores empozándose en los pisos deformados y drenándose a través de las grietas y fisuras.
- No se encontró estudio de suelos de la propiedad, al parecer no se realizó, pues el propietario no brindó información al respecto.
- En la casa principal donde reside el propietario no se evidenciaron fallas similares a las encontradas en la casa del mayordomo, esta casa principal había sido construida sobre terreno plano, se observó falta de mantenimiento al ladrillo de la fachada y el asentamiento de dicha construcción al parecer había sido uniforme.
- De acuerdo con lo comentado por el propietario, una vez se construyó la casa principal, se iniciaron las tareas de cimentación de la casa del cuidador, sin embargo, en principio solo se desarrolló el muro en piedra en fachada posterior y laterales, el relleno en recebo y los bloques de piedra (ciclópeo), la obra se suspendió por un tiempo y luego fue retomada por otro profesional, quien planteó la superestructura sobre las obras de cimentación existentes.

Causa probable

En este caso, los defectos evidenciados probablemente se originaron por la suma de fallas en etapa de diseño y construcción de la vivienda.

De acuerdo con el apique realizado, se instaló un relleno en recebo sobre material orgánico (tierra negra con raíces) sin embargo, estos estratos deben ser retirados

antes de emplazar una estructura sobre el terreno, ya que este tipo de materiales son de alta compresibilidad, lo anterior pudo ocasionar que la casa sufriera en principio un asentamiento mayor al que hubiera tenido normalmente si su cimentación se hubiera apoyado sobre un relleno constituido por una subbase, es probable que esto sucedió por desconocimiento del profesional encargado de la obra inicialmente o porque no existía estudio de suelos, pues no se evidenciaron las recomendaciones geotécnicas para la construcción de las estructuras.

Debido a lo anterior, al asentarse la casa se generó una serie de fisuras de los pisos alrededor de los muros y otros elementos más rígidos tales como las cajas de inspección, dando lugar a que el agua lluvia que caía de la cubierta se empozara en los pisos deformados y se infiltrara al relleno a través de dichas fisuras.

Al no tener el muro perimetral en piedra pases o drenajes que permitieran drenar el agua que se filtraba, es probable que se fuera acumulando generando una presión adicional sobre este elemento, teniendo en cuenta que el muro en piedra no ofrecía una resistencia respecto al empuje lateral ejercida por el relleno y la sobrecarga representada por la casa, este terminó por ceder y empezó a deformarse originando que el relleno se desplazara hacia el costado de la fachada posterior produciendo un asentamiento más marcado en dicho extremo de la casa, ejerciendo esfuerzos sobre los muros de mampostería llevando a la fisuración de los mismos.

Este proceso se repitió como un círculo vicioso donde las fisuras del piso se convirtieron en grietas, por donde cada vez podía entrar más agua al relleno que a su vez, ejercía una mayor presión en el muro hasta llegar a un desplazamiento lateral en la parte superior de 5.5 cm y un asentamiento diferencial de 3.5 cm entre fachada principal y posterior de la casa, y haciendo que las bases de los muros de la fachada posterior perdieran soporte.

Solución propuesta

Evidentemente el muro en piedra construido para confinar el relleno no tuvo la capacidad para soportar la carga lateral proveniente del mismo y la sobrecarga aportada por el peso de la estructura, por lo tanto se propuso la construcción de un muro de contención en concreto reforzado fundido sobre el muro existente en piedra, pero diseñado para soportar los esfuerzos generados por las cargas laterales y para resistir el volcamiento generado por el empuje lateral, de esta forma se elimina el riesgo de caída del muro existente y por consiguiente se detiene la falla debida al deslizamiento del material del relleno que puede estar en progreso.

Con el fin de que el agua lluvia deje de drenar al interior del relleno, se propuso la instalación de canales de aguas lluvias, las cuales depositarán la escorrentía en una bajante que conducirá el agua a una caja de drenaje, de esta forma se evita que el agua se empoce sobre los corredores perimetrales de la vivienda y se filtre al interior del relleno donde se cimenta la casa.

Se propuso que una vez se realicen estas dos actividades, se sellarían de manera provisional las fisuras y grietas que existan en los corredores perimetrales por donde el agua lluvia pueda infiltrarse al interior del relleno, para luego dejar la casa en observación durante un periodo de 6 meses, tiempo durante el cual se realizaría seguimiento al asentamiento de la estructura, verificando de esta forma que la construcción del muro en concreto y la canalización del agua lluvia brinden una solución para que el asentamiento diferencial de la estructura no siga su curso, al sellar las fisuras provisionalmente con mortero permitirían evidenciar si estas siguen activas o por el contrario se detentaría su evolución.

Pasados los 6 meses, se procedería a evaluar si la falla de asentamiento diferencial sigue evolucionando, en caso tal de que se haya detenido, se daría lugar a realizar los arreglos definitivos de fisuras y grietas de pisos, goteras y el reemplazo de elementos más deteriorados, en el caso que la falla de asentamiento diferencial no se hubiera detenido al cabo de este tiempo, se procedería a realizar el estudio de una solución más radical, en este caso como alternativa de solución se realizaría la evaluación estructural con el fin de instalar una serie de micro pilotes a lo largo de las vigas de cimentación que permita controlar de forma definitiva el asentamiento

diferencial de la edificación, sin embargo el propietario debía evaluar el costo de dichos trabajos respecto al costo de la edificación y tomar una decisión.

En este caso no fue posible evaluar la alternativa de solución propuesta pues para el propietario representaban un costo elevado el cual no tenía presupuestado, actualmente se desconoce si se llevó a cabo algún tipo de reparación u obras de mitigación de las fallas evidenciadas pues como se había observado otro profesional ya había realizado una visita en la que se realizó un apique para verificar la conformación de la cimentación existente.

Enseñanzas

- No siempre un muro de piedra puede brindar una solución estructural para soportar un empuje lateral proveniente de un relleno que en este caso, tenía la sobrecarga de la edificación existente.
- El profesional encargado de la construcción debió haber realizado una inspección a la conformación del relleno existente, por medio de un sondeo o un apique pudo haber verificado que no se retiró el material orgánico (estrato de tierra con raíces) el cual posee una alta compresibilidad contribuyendo al asentamiento de la vivienda y al daño a los acabados y elementos estructurales.
- El hecho de que el agua lluvia se infiltrará al interior del relleno a través de fisuras y grietas puede contribuir a que se aumente la presión lateral generando un desplazamiento del muro que su vez provoca a que las fisuras y grietas incrementaran su abertura, lo cual permite la entrada de una mayor cantidad de agua, por tanto se vuelve un círculo vicioso que solo terminará con la falla definitiva del muro.

3.3. Edificio residencial – Afloramiento de agua en pisos de parqueaderos de sótanos

Descripción del proyecto

El proyecto consta de dos torres de planta rectangular, que tienen cinco pisos destinados para uso residencial y una cubierta plana diseñada como área social, en la parte inferior se encuentran tres sótanos que suplen las necesidades de parqueadero.

Estructuralmente el edificio está conformado por un sistema de pórticos y muros pantalla en concreto, que transmiten las cargas generadas por el uso y el peso propio de la edificación a la cimentación, compuesta por dados y pilotes de concreto que alcanzan una profundidad aproximada de 25 metros.

El edificio cuenta con tres niveles de sótano, en la Torre 1 un sótano cuyo nivel estructural llega a 3 metros bajo el nivel cero establecido para el proyecto y en la Torre 2 se encuentra un semisótano a un nivel de 1.75 metros bajo el nivel cero y un segundo sótano a un nivel de 5.20 metros bajo el nivel cero.

En el sótano más profundo de cada torre, se encuentra una losa de cimentación en concreto reforzado de 0.80 m de altura, constituida por una placa de 0.25 m de espesor y vigas de cimentación descolgadas de 0.55 m de altura según los planos estructurales, dicha placa está apoyada sobre una capa de recebo compactado. Sobre esta losa se encontró una sobre placa que funciona como capa de rodadura en concreto de 0.07 m de espesor aproximadamente que está apoyada sobre la placa de cimentación, sobre dicha sobre placa circula el tránsito vehicular interno en los parqueaderos.

En el perímetro de los sótanos también se encuentran muros tipo pantalla de concreto reforzado de 0.40 m de espesor, los cuales soportan las presiones generadas por el terreno natural circundante y las presiones generadas por el nivel freático existente.

Fallas o defectos

Seis años después de la construcción del edificio, la administración del predio evidencia un afloramiento de agua en algunas de las juntas de las sobre placas de concreto que cumplen la función de rodadura para los vehículos del sótano de torre 1 y en el sótano 2 de la torre 2, por lo tanto se solicita visita técnica de un tercero para establecer el origen del agua y proponer una solución a dicho evento el cual resulta molesto para los propietarios de los parqueaderos pues en ocasiones sus espacios se encuentran encharcados.

Como parte de las investigaciones realizadas en las placas de sótano para establecer la causa probable de las filtraciones de agua, se recopiló información y se realizaron trabajos exploratorios no destructivos y destructivos, entre estas actividades se recopilaron planos estructurales y estudio de suelos, se efectuó una inspección visual, se removieron segmentos de sobre placas de sótano y se revisaron los drenajes existentes.

Dentro de la información técnica recopilada, se tuvo acceso al estudio de suelos realizado en el año 2008, dicho informe indicaba que el nivel freático en la zona donde está emplazado el edificio ronda profundidades entre 1.5 y 3.8 metros y adicionalmente se recomendaba la construcción de un sistema de drenaje constituido por un filtro representado por un piso falso en mampostería (ver figura 37) entre placa de contrapiso y la placa de rodadura para los sótanos, de igual forma este piso falso se observó en algunos detalles de los planos estructurales.

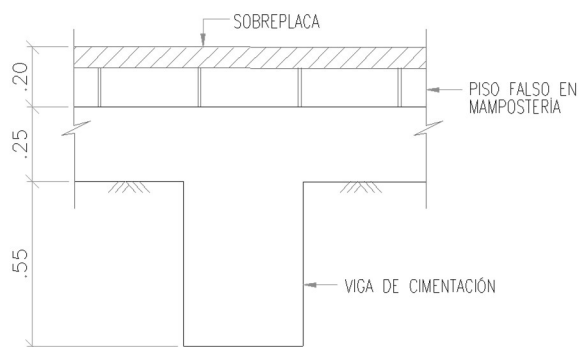


Figura 37. Detalle de filtro en planos de diseño estructural (archivo propio)

En la inspección visual, se evidenciaron infiltraciones de agua de nivel freático a la superficie de la placa de contrapiso, las señales de dichas infiltraciones se reflejan en la sobre placa como eflorescencias o manchas en la superficie de concreto que sirve como la capa de rodadura para vehículos, ver figura 38 y 39.



Figura 38. Eflorescencias en juntas de sobre placas (archivo propio)



Figura 39. Manchas en superficie de sobre placas (archivo propio)

Adicionalmente se detectó empozamiento de agua de nivel freático al interior de la cavidad que existe entre los muros de limpieza y los muros de pantalla por imposibilidad para drenar ya sea por falta de drenajes o taponamiento de los mismos ver figura 40, dicha acumulación de agua se refleja en humedades en el muro de mampostería, ver figura 41.



Figura 40. Drenajes obstruidos al interior de los muros de limpieza (archivo propio)



Figura 41. Manchas de humedad en muros de limpieza (archivo propio)

Para las exploraciones realizadas (ver figura 43 y 44), se demarcaron las zonas de intervención, para el sótano del Torre 1, estas se localizaron entre los ejes transversales 11 a 14 y los ejes longitudinales H a J, pues correspondía a la zona donde se concentraban los problemas, ver figura 42.

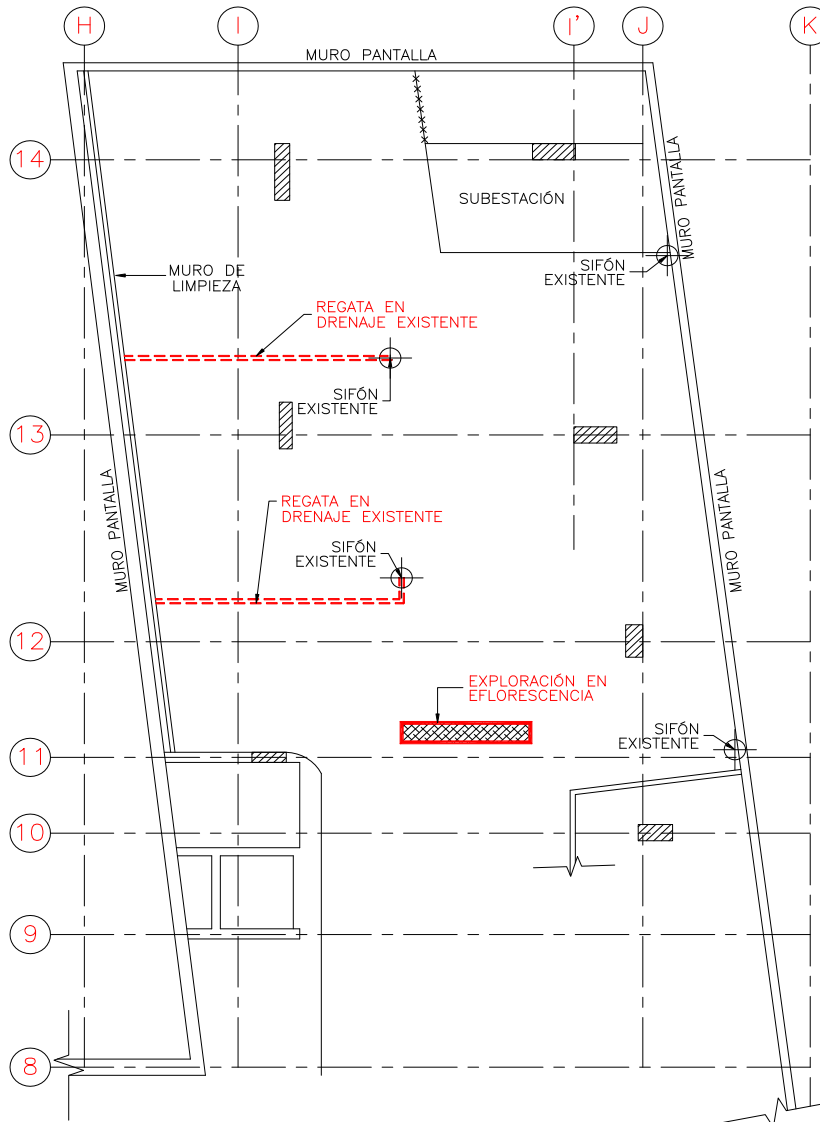


Figura 42. Exploraciones en sótano Torre 1 (archivo propio)



Figura 43. Perforación en la placa de contrapiso con presencia de nivel freático (archivo propio)



Figura 44. Regata en drenaje existente, drenajes conformados por medios tubos (archivo propio)

Para el caso del sótano de la Torre 2 las exploraciones (ver figura 46) se localizaron entre los ejes transversales 6' a 8 y los ejes longitudinales E a F, pues correspondía a una de las zonas con mayores filtraciones, ver figura 45.

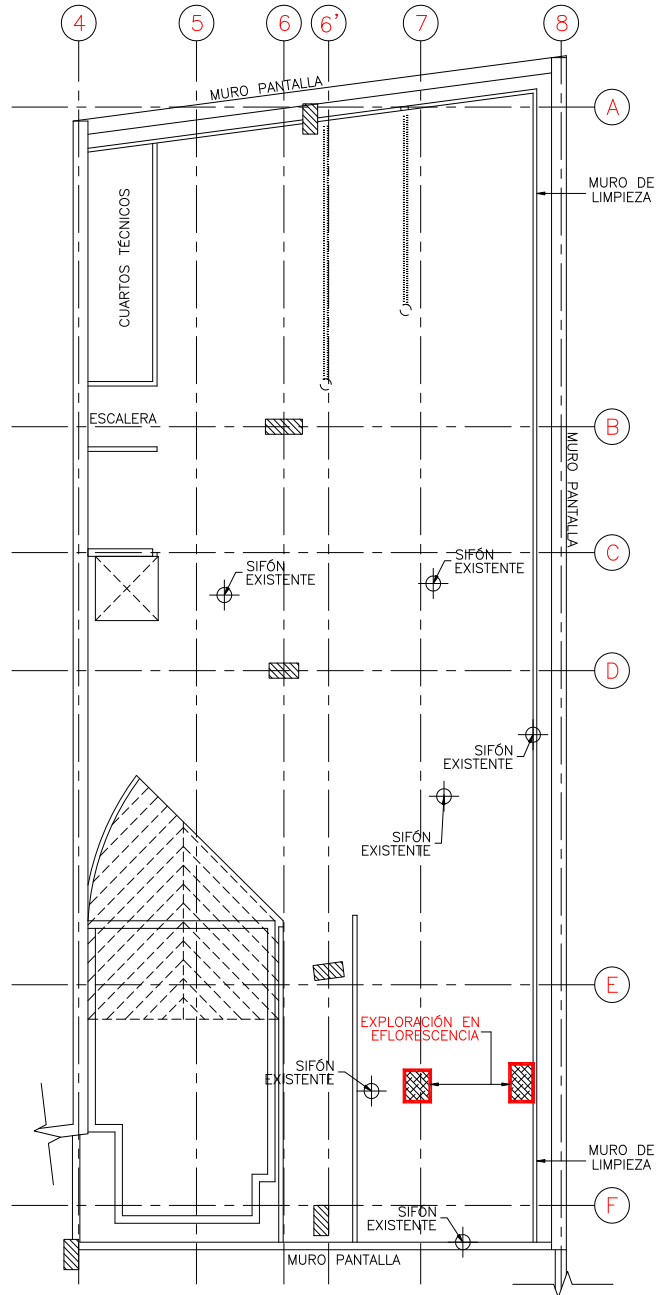


Figura 45. Exploraciones en sótano de Torre 2 (archivo propio)



Figura 46. Presencia de agua que al parecer se filtra a través de las junta de la sobre placa y por el muro de limpieza (archivo propio)

En la placa de sótano torre 1 se encontró que los drenajes existentes que conducen el agua del muro de limpieza a los sifones, están constituidos por medios tubos, dicha característica facilita que se infiltre el agua entre la placa de contrapiso y la sobre placa, esto origina que aflore a la superficie ya sea en las juntas o en fisuras existentes en la superficie con el paso de los vehículos, adicionalmente se encontraron algunos drenajes obstruidos tanto en el sótano torre 1 como en el sótano torre 2.

En el caso de las cañuelas existentes, se observó que en algunos casos estas permitían el empozamiento de agua al no conducir adecuadamente el agua a los sifones o drenajes existentes.

Causa probable

De acuerdo a las exploraciones, una de las causas probables para las infiltraciones de agua a la superficie de las placas de tránsito vehicular podría ser el drenaje inadecuado del agua de nivel freático existente en el terreno que rodea los sótanos, esta agua atraviesa las pantallas y se empoza en los espacios existentes entre estas y los muros de limpieza (mampostería), luego lentamente empieza a filtrarse al interior de los pisos de los sótanos y viaja a través de las juntas de la sobre placa hacia el interior de los parqueaderos.

Adicionalmente las características de los drenajes existentes constituidos por medios tubos de PVC, incrementan el efecto de la infiltración del agua, ya que permite que esta se vaya infiltrando entre la placa de cimentación y la sobre placa en vez de viajar directamente a los sifones existentes.

Por otro lado, otra posible causa está relacionada con la diferencia de altura entre el nivel freático y la placas de sótano, esta diferencia genera una presión de agua debajo de la placa de cimentación que podría generar filtraciones a través de fisuras que pueda llegar a tener dicha placa, pues no existe un sistema de evacuación similar al filtro representado por el piso falso en mampostería recomendado en el estudio de suelos e indicado en los planos de diseño estructural.

Solución propuesta

Una alternativa de solución que mitigaría dicha patología, consiste en la construcción de un sistema de drenaje más eficiente que evacue rápidamente el agua que puede acumularse detrás de los muros de limpieza, dicho drenaje está compuesto por una serie de pases en los muros de limpieza (ver figura 47) que drenará el agua acumulada a una cañuela perimetral impermeabilizada que a su vez conducirá el agua a sifones perimetrales existentes o a drenajes constituidos por tubos PVC embebidos en la sobre placa que llevaran el agua a sifones localizados en la parte central del área del sótano.

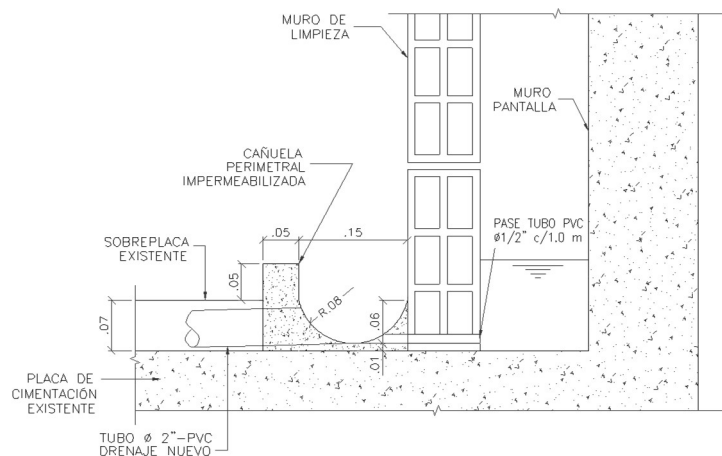


Figura 47. Detalle de obras de drenaje de la solución propuesta (archivo propio)

Por otro lado, la copropiedad deberá comprometerse a realizar un mantenimiento periódico de cañuelas, drenajes y sifones de tal forma que no se acumule material en los diferentes elementos hidráulicos lo cual facilitaría nuevamente taponamientos y acumulación de agua de nivel freático.

Enseñanzas

- Es importante seguir las recomendaciones de los estudios de suelos y detalles constructivos, pues aunque al principio de la puesta en uso del edificio no se evidenció dicho problema, años después se observa que existe una afectación en los parqueaderos de la unidad residencial, que probablemente se hubiera podido evitar si se hubiera construido el filtro en el piso falso tal y como lo indicaba el diseño estructural.
- No solo basta con la construcción de unas adecuadas obras de drenaje, los propietarios y usuarios de las construcciones deben ser conscientes de su mantenimiento periódico y preventivo a fin de reducir la posibilidad de que se generen patologías que afecten el adecuado funcionamiento de las estructuras.

3.4. Brazo pescante – Falla en prueba de carga

Descripción del proyecto

El objeto de este proyecto consistió en el diseño estructural y fabricación de un brazo pescante con una capacidad de carga de 3 t, destinado para cargue y descargue de insumos para una planta de producción de perfiles. La estructura está constituida por una columna en perfil tubular $\phi 20''$ anclada al piso que soporta en la parte superior una viga IPE en voladizo donde se instalará el equipo polipasto para izaje de carga, ver figura 48.

Dicha estructura debe ser capaz de girar 320° alrededor de su eje, tendrá en la parte superior de la columna un motorreductor que permitirá dicho giro y a lo largo de la viga se dispondrá del respectivo cableado para la instalación del polipasto.

Para garantizar el giro de la viga alrededor de la columna, el segmento vertical de la viga, tendrá instalado en su parte inferior, una serie rodamientos que se apoyaran sobre la cara de la columna que actuará como superficie de rodamiento.

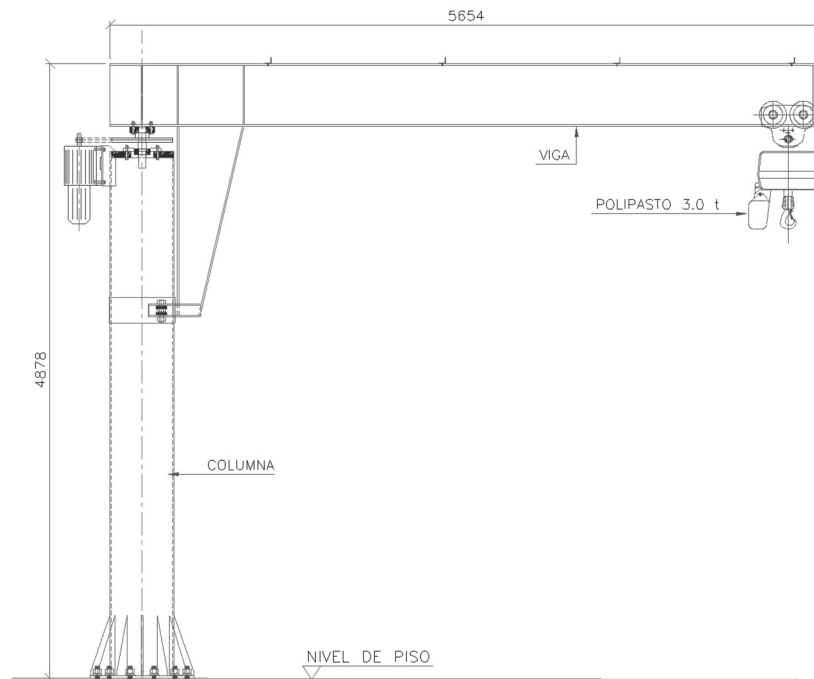


Figura 48. Alzado estructura brazo pescante (archivo propio)

Fallas o defectos

Una vez finalizada la fabricación de la estructura metálica del brazo pescante, esta se envió a obra para su montaje, donde se ancló a la cimentación, se instalaron los equipos mecánicos (polipasto, motorreductor y cableado) y se realizó la correspondiente prueba de carga y funcionamiento antes de realizar la entrega formal al cliente para garantizar la correcta operatividad del equipo.

En dicha prueba de carga, al aplicar la carga de 3 t, se evidenció una deformación excesiva en el extremo libre de la viga, ver figura 49, tal fue la magnitud que el polipasto presentó dificultad para desplazarse a lo largo de la viga cuando este se encontraba cargado, posteriormente se escuchó un crujido proveniente de la cadena del motorreductor al romperse y se evidencio desacople parcial de la viga respecto al eje de la columna, al tomar el registro en sitio de dicha deformación se observó que esta media aproximadamente 81 mm, 3.5 veces más que lo esperado correspondiente a la relación $L/225$ ($5200 \text{ mm} / 225 = 23 \text{ mm}$) límite establecido en el diseño estructural e indicado por la Normas internacionales de construcciones y diseño de puente grúas CMAA (Crane Manufacturers Association of America), por lo tanto se suspendió la prueba y se procedió a determinar que esta no fue satisfactoria y se notificó al proveedor de la no conformidad.

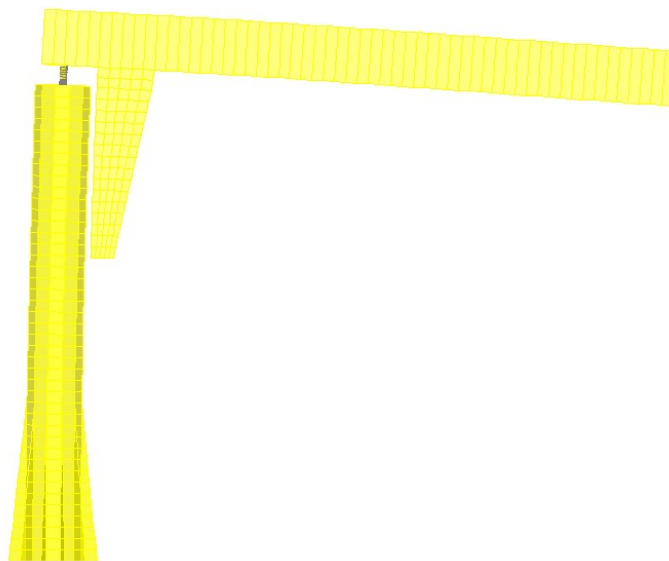


Figura 49. Deformación del extremo en voladizo (archivo propio)

Causa probable

La falla de esta estructura se evaluó en dos etapas, la primera de ellas enfocó a verificar nuevamente la fabricación de la estructura respecto a los planos de taller, aunque antes de la salida de taller el inspector de calidad realizó la revisión, fue necesario desplazar otro inspector para verificar nuevamente las dimensiones de perfiles, certificados de calidad de materiales, espesores de elementos, longitud de la viga, posición de atiesadores, posición de soldaduras y conexiones, altura de columna, longitud de la viga, tipo de rodamientos, entre otros, esta primera revisión permitió constatar que la estructura fue fabricada de acuerdo con los planos de taller y estos a su vez corresponden con los planos de diseño, por lo tanto, se procedió a indagar el proceso de diseño.

En la segunda etapa se procedió a evaluar la trazabilidad del diseño estructural, se inició con la verificación de los planos de diseño, en este caso tanto las dimensiones como los tipos de perfiles corresponden con lo indicado en la memoria de cálculo, sin embargo en la memoria de cálculo se evidenció que no existían cálculos parciales o una verificación de los resultados del modelo estructural que permitiera corroborar los resultados de la modelación.

Al remitirse al modelo estructural, se observó un modelo de elementos finitos, con una adecuada definición de materiales y dimensión de elementos, correcta asignación de cargas y de las combinatorias de servicio y diseño, sin embargo se detectó que el diseñador definió una condición tipo EQUAL a una serie de puntos en la parte inferior del elemento vertical de la viga, donde van instalados los rodamientos que se apoyan en la columna, ver figura 50.

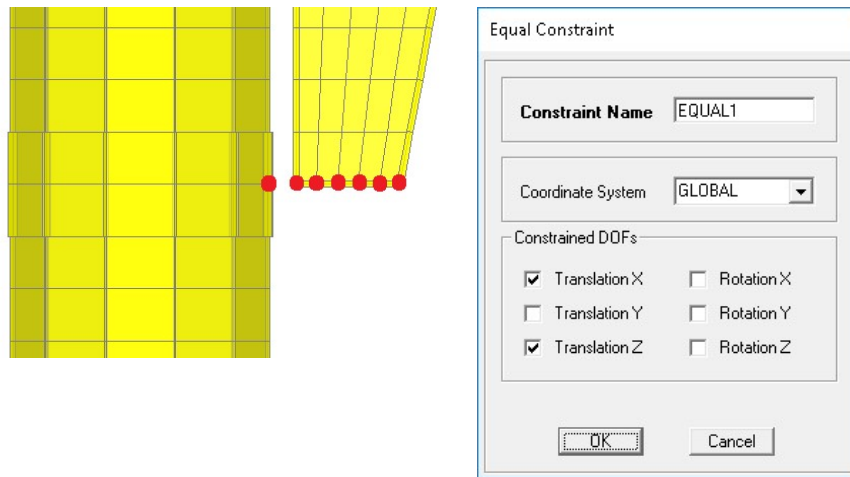


Figura 50. Definición de condición EQUAL no adecuada (archivo propio)

Esta condición tipo EQUAL, había sido definida para que los puntos de la columna y de la parte inferior de la viga se desplazaran de la misma forma en el sentido vertical y horizontal, ya que no estaban conectados entre sí en el modelo estructural, es decir no existe desplazamiento entre sí en los puntos que hacen parte de la condición, ver figura 51.

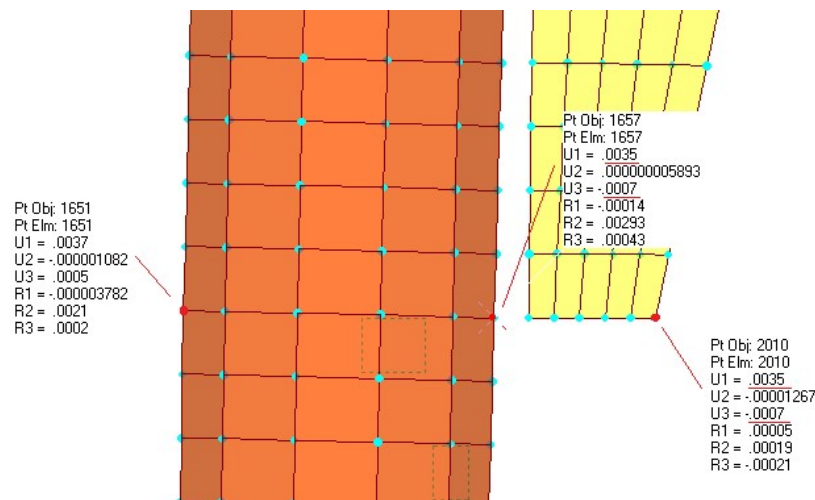


Figura 51. Deformaciones en puntos con condición EQUAL no adecuada (archivo propio)

De forma inadecuada esta condición, evitaba que la viga se deformara verticalmente en la magnitud que realmente lo haría al estar cargada, lo cual no

reflejaba la realidad, puesto que al existir unos rodamientos, estos se deslizarían sobre la cara de la columna al izar la carga y no existiría restricción en la dirección vertical más que el propio rozamiento entre dos superficies de acero, ver figura 52, si requería utilizar la condición EQUAL lo más adecuado era solo definirla para el desplazamiento horizontal.

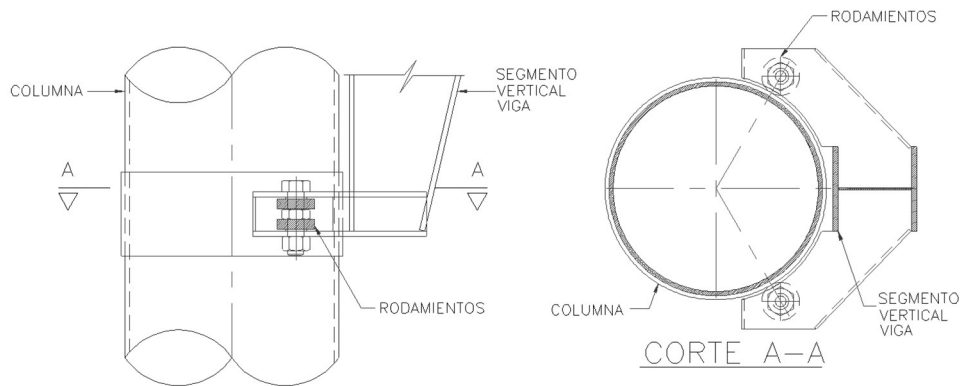


Figura 52. Apoyo de segmento vertical de viga sobre columna (archivo propio)

Al indagar al diseñador respecto a esta condición definida en el modelo estructural, este indicó que asignó dicha condición por instrucción del director de diseño, puesto que se debía ajustar el modelo estructural de tal forma que se comportará como el modelo estructural elaborado por su superior (constituido por una viga con un pie de amigo apoyado en la columna) utilizado para realizar la cotización de la estructura pues de lo contrario se incrementarían los costos del proyecto, dicho de otra forma, se ajustó el modelo estructural para que se comportará como quería el director de diseño y no como realmente sucedería.

De acuerdo a lo anterior se procedió a modificar la condición EQUAL definida para la dirección horizontal, ver figura 53, se ejecutó el modelo y se constató que al modificar esta característica, la deformación vertical en el extremo de la viga correspondía a 75.5 mm, valor similar a lo registrado en la prueba de carga, esto permitió establecer, que los perfiles estructurales definidos para la viga y la columna no eran adecuados para cumplir con los requisitos de funcionalidad del equipo y lo especificado en la normatividad vigente.

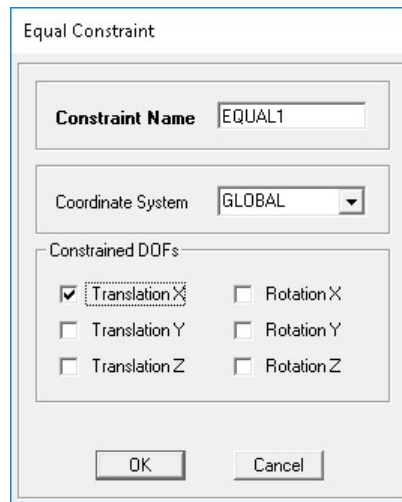


Figura 53. Definición de condición tipo EQUAL adecuada (archivo propio)

Solución propuesta

Teniendo en cuenta que la estructura no cumplía los requisitos de funcionalidad, desempeño y seguridad, y debido a que es un estructura muy pequeña, se propuso realizar un nuevo diseño estructural atendiendo los hallazgos en la auditoria del diseño estructural; al realizar nuevamente el diseño estructural, se obtuvo como resultado una columna de perfil tubular y una viga en perfil tipo IPE de mayores dimensiones a las inicialmente planteadas, de esta forma se cumple con las deformaciones máximas permitidas y al realizar la prueba de carga de la nueva estructura el polipasto funciono adecuadamente al izar la carga planteada, de esta forma se dio por cerrada la no conformidad por parte del cliente.

Enseñanzas

- Un modelo estructural por computador debe contar con cálculos parciales que permitan evaluar que los resultados obtenidos sean los esperados.
- Al construir un modelo estructural por computador, se deben definir características de tal forma que refleje la realidad del comportamiento de la estructura y no una forma idealizada de la misma.

3.5. Casa de bombas – Evaluación estructural por renovación de equipos

Descripción del proyecto

La casa de bombas localizada en un municipio aledaño a la ciudad de Bogotá, tiene como función bombear el agua de un embalse hacia la planta de potabilización para abastecer una red de acueducto durante las épocas en que la fuente principal no puede suplir completamente la demanda o durante el mantenimiento de los túneles que conectan la fuente principal con la planta de potabilización. Es de resaltar que el agua del embalse donde opera esta casa de bombas es de reserva del sistema, por lo cual la estación permanece apagada durante 9 meses del año.

La estructura de la estación de bombeo fue diseñada en 1985 dentro de la vigencia del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes de 1984, sin embargo su construcción no se inició sino hasta 1997, antes de la entrada en vigencia de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98, adicionalmente la firma de ingeniería encargada de los diseños considero otros códigos de diseño ACI 318-83 y el manual AISC de 1980.

La casa de bombas está dentro de la masa rocosa del embalse, cuenta con cinco sótanos y al estar rodeada por el agua del embalse, constantemente enfrenta el efecto del empuje hidrostático en los muros perimetrales, ver figura 54, por tal motivo desde el sótano 4 hacia abajo se cuenta con un canal perimetral (ver figura 55) y se construyó un muro de limpieza para aislar y mejorar el aspecto visual del muro pantalla.

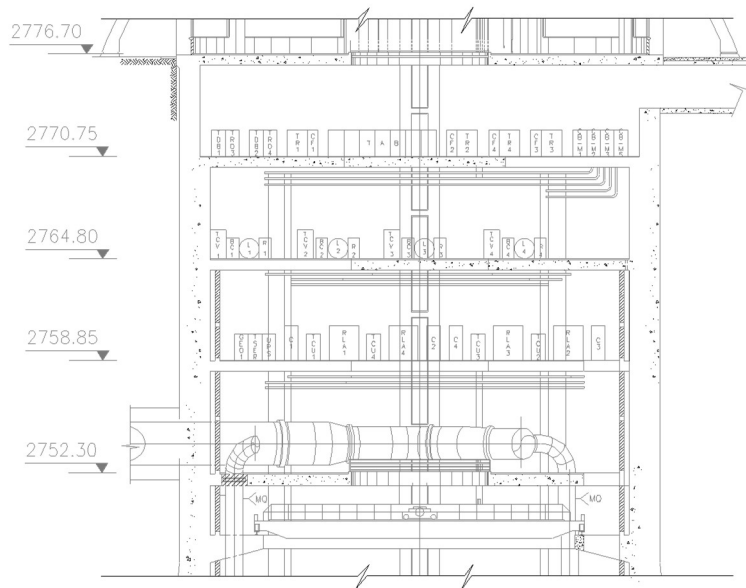


Figura 54. Alzado estructura casa de bombas (archivo propio)

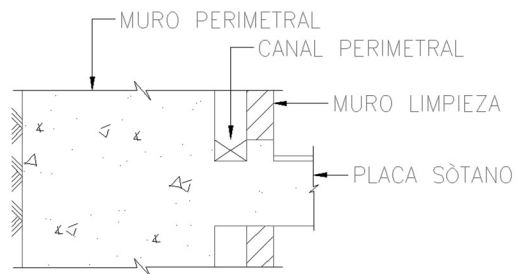


Figura 55. Detalle canal interno sobre placas de sótano (archivo propio)

Con el fin verificar la capacidad de las losas para soportar las cargas provenientes de nuevos equipos, se contrató una revisión estructural para evaluar la placa del nivel 2764.77 m (sótano 2) donde dos equipos variadores serían reemplazados y la placa del nivel 2758.82 m (sótano 3) tres equipos similares serían objeto de la sustitución; dichos equipos serían los encargados de la regulación de los equipos mecánicos de la estación.

Los pisos de sótano objetos de la evaluación están constituidas por placas tipo anillo en cantiliver que soportan las cargas verticales provenientes de las cargas

mueras permanentes y las cargas vivas debidas a la operaci3n de las instalaciones. Las placas est3n empotradas en el borde externo por una pantalla perimetral de concreto y libres en el borde interior del anillo, adicionalmente cuenta con una plaqueta o acabado sobre las placas que tiene un espesor aproximado de 10 cm, ver figura 56.

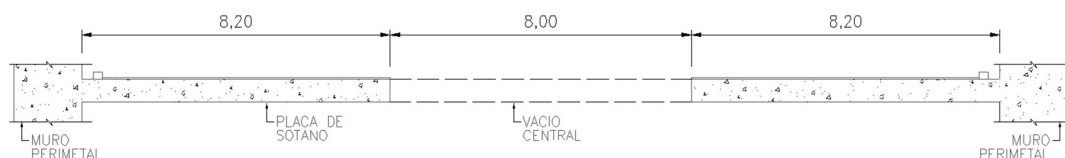


Figura 56. Configuraci3n placas de s3tano (archivo propio)

Fallas o defectos

Adem3s del an3lisis estructural que permitiera evaluar las nuevas condiciones de carga de los nuevos equipos, para llevar a cabo el estudio de las placas localizadas en el s3tano 2 (nivel 2764.77 m) y s3tano 3 (nivel 2758.82 m) de la casa de bombas, se realiz3 una inspecci3n visual detallada que permitiera localizar daos, grietas, fisuras y en general indicios que permitieran establecer alg3n tipo de falla preexistente.

Para realizar la inspecci3n visual detallada se llevaron a cabo 3 visitas a la casa de bombas, en las que se estableci3 la localizaci3n de equipos existentes, se realiz3 un mapeo de las fisuras de la cara superior e inferior de las placas objeto de estudio y se realiz3 una inspecci3n general de las estaciones de la estaci3n de bombeo, de las visitas se obtuvieron los siguientes hallazgos y observaciones:

- Se encontraron 4 grupos de equipos en cada una de las placas consideradas. Estos equipos tienen pesos que van desde 0.35 kN para los capacitores en la losa del piso P-2 hasta 53 kN para el transformador de la losa del piso Nivel P-2 o para el hidro-re3stato de la losa del piso Nivel (2758.82) P-3.
- Los equipos encontrados no generaban vibraciones perceptibles en las placas.

- Se apreció una variación de temperatura entre el nivel superior de la estación y los niveles inferiores, disminuyendo la temperatura a medida que se desciende dentro de la estación, pues no contaba con equipos de aire acondicionado. Esta variación de temperatura se midió obteniendo los siguientes resultados:
 - Temperatura Exterior 08:40 am 22°C
 - Temperatura Interior S-2 10:24 am 16°C
 - Temperatura Interior S-3 10:57 am 17°C
 - Temperatura Interior S-4 11:10 am 15°C

- No se observaron fallas funcionales en las escaleras, el ascensor o la baranda.

- La losa del piso Nivel (2758.82) P-3 es la que mayor número de fisuras presentaba en su cara superior, la mayoría de ellas salen de los bordes de pasa losas y aberturas en la placa (ver figura 57 y 58), de la misma forma se encontró que las fisuras de mayor longitud pasaban bajo los equipos transformadores, que son los más pesados, en esta placa se encontraron fisuras entre 0.40 m y 6.50 m de longitud, con espesores entre 0.10 mm y 0.80 mm, sin embargo se evidencio en esta placa el tratamiento previo de la mayor parte de las fisuras (ver figura 59), principalmente las de mayor longitud, ver figura 60.



Figura 57. Fisura entre aberturas de placa (archivo propio)



Figura 58. Fisura cercana a equipo hidro-reóstato (archivo propio)



Figura 59. Fisura con tratamiento previo - inyecciones (archivo propio)

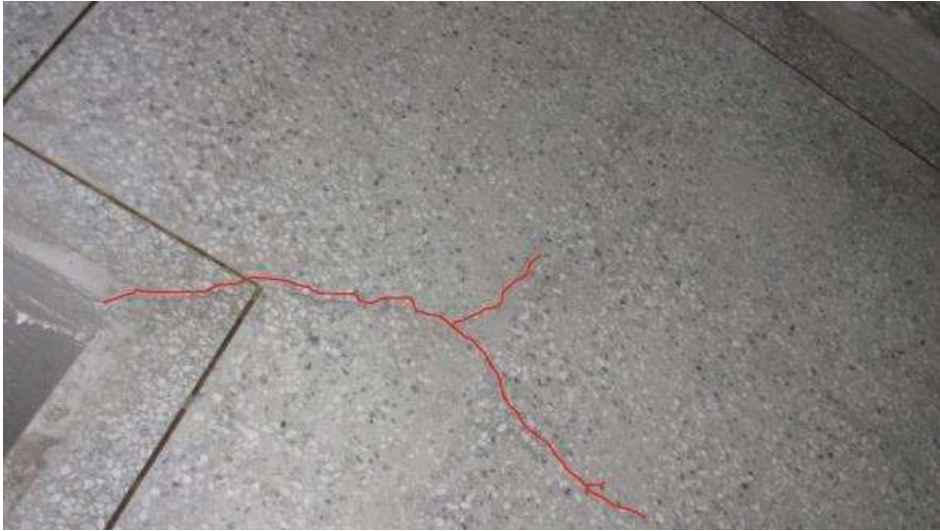


Figura 61. Fisuras en borde de pasa losas (archivo propio)

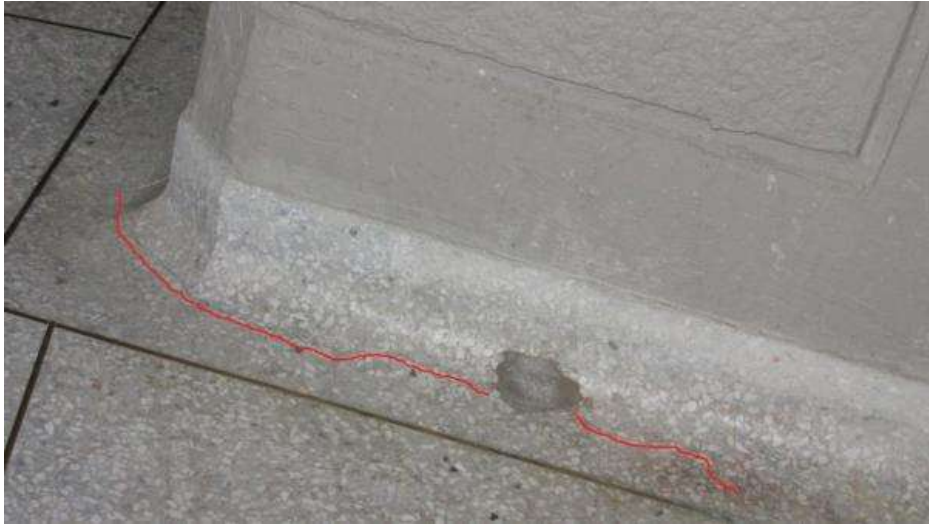


Figura 62. Fisura alrededor de foso de ascensor (archivo propio)

posiblemente coincide con una fisura en cara superior de la losa sobre el eje 8 junto a uno de los equipos.

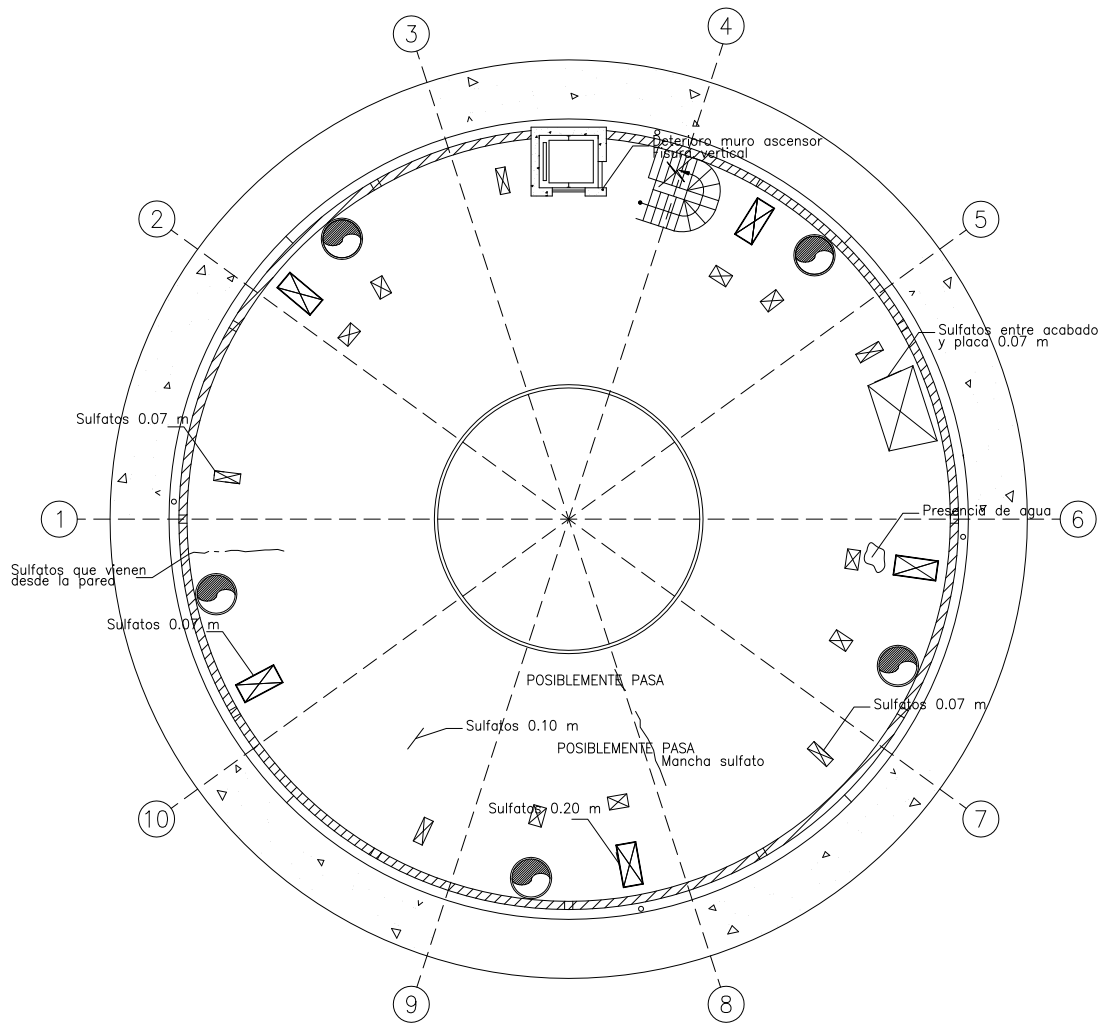


Figura 64. Mapeo de fisuras y eflorescencias cara inferior placa sótano 2 (archivo propio)

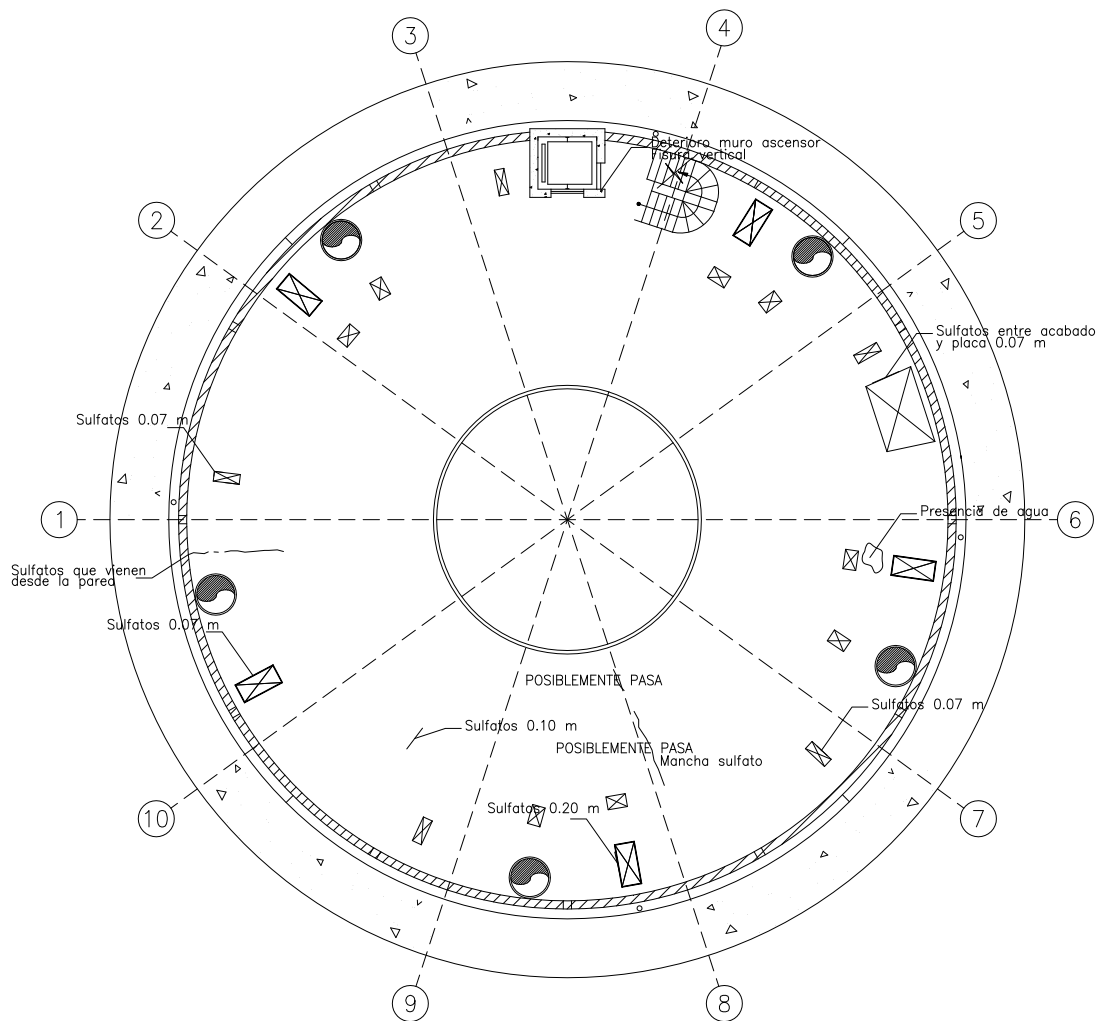


Figura 65. Mapeo de fisuras y eflorescencias cara inferior placa sótano 3 (archivo propio)

- Se hallaron eflorescencias en la superficie inferior de cada una de las losas (ver figura 66), probablemente producto de un proceso de lixiviación del concreto donde componentes de la pasta de cemento son lavados y viajan a través de las placas y por las aberturas y pasa losas, debido a lo anterior se solicitaron 5 apiques en la losa del piso Nivel (2764.77) P-2 y 3 apiques más en la losa del Nivel (2758.82) P-3 con el fin de verificar que las fisuras encontradas en la cara superior no pasaran a la cara inferior y que no exista paso de lixiviados de una cara a la otra, de dicho procedimiento se constató que las grietas y fisuras que se observaron en la superficie de las losas de

estudio no sobrepasaban el recubrimiento en granito pulido (acabado) de 10 cm que se encuentra instalado sobre las placas, ver figura 67.



Figura 66. Eflorescencias cara inferior de placas (archivo propio)



Figura 67. Fisura en plaqueta de acabado (archivo propio)

- El recubrimiento (acabado) de 10 cm de la placa Nivel 2758.82 P-3 se encuentra en su gran mayoría suelto y no adherido a la placa de soporte, debido a esto hay filtraciones entre placa (ver figura 68) y la plaqueta de recubrimiento, por lo tanto no era conveniente anclar ni apoyar los equipos sobre dicho acabado.



Figura 68. Filtración entre plaqueta de acabado y placa (archivo propio)

- La filtración de agua al interior de la estructura era notoria y estaba generando daños a la estructura por humedades al interior de la caseta, lo que probablemente podía generar la corrosión del acero de refuerzo en los sitios donde el concreto fuese permeable o tuviera escaso recubrimiento, ver figura 69 a 76.



Figura 69. Agua acumulada en canales perimetrales (archivo propio)



Figura 70. Eflorescencias que se originan en fisuras de los muros pantalla (archivo propio)



Figura 71. Corrosión de elementos metálicos de escalera (archivo propio)



Figura 72. Daños en toma eléctrica y señales de lixiviados en el muro (archivo propio)



Figura 73. Lixiviados en el concreto de la placa (archivo propio)



Figura 74. Corrosión de anclajes de baranda (archivo propio)



Figura 75. Efecto de goteras sobre el acabado de placa (archivo propio)



Figura 76. Fisuras y grietas en andén perimetral caseta de bombas (archivo propio)

Causa probable

Se realizó la revisión estructural de las placas de sótano 3 y 2 en dos etapas, en la primera de ellas se evaluó la posición y carga de equipos existentes, en la segunda se analizó la condición de cargas de los nuevos equipos.

De dicha revisión se evidenció concentración de esfuerzos en bordes de aberturas o pasa losas existentes en las placas, adicionalmente se encontraron mayores esfuerzos de flexión en la unión de la placa con el muro pantalla de la casa de bombas, sin embargo, de acuerdo con el análisis realizado, tanto las dimensiones de las placas, como el acero de refuerzo y la calidad de los materiales descritos en los planos de construcción, eran suficientes para soportar tanto los esfuerzos a flexión como los esfuerzos a corte en las dos condiciones de carga.

Esto se pudo corroborar en las exploraciones realizadas donde se evidenció que las fisuras de la cara superior se limitan a la plaqueta de acabado, la cual al ser un elemento fundido en segunda etapa, al ser un elemento mucho más delgado (10

cm) y al no tener acero de refuerzo en su interior, es probable que cuando la placa de concreto se deforma por efecto de las cargas, esta plaqueta intenta deformarse al mismo ritmo pero al no ser capaz, se fisura y se desliga de la placa de concreto reforzado, permitiendo que el agua que entra por el muro pantalla se infiltre y viaje por la interface de los dos elementos.

Respecto a manchas y depósitos de color blanco encontrados en diferentes zonas de la caseta de bombas tales como muros, placas de sótanos y redes eléctricas, se determinó que la causa más probable puede ser la lixiviación del concreto, teniendo en cuenta el efecto del empuje hidrostático que constantemente está presente en la pared del muro pantalla, dicho muro puede tener fisuras que permiten la entrada del agua al interior de la caseta lixiviando hidróxido de calcio, componente (25% - 30%) de la pasta de cemento el cual, es más soluble en agua fría como es el caso del agua contenida en el embalse.

Esta condición puede ser más agresiva teniendo en cuenta que se evidenció la acumulación de agua en las cañuelas perimetrales de los diferentes sótanos y no evacua adecuadamente por los desagües.

Solución propuesta

Teniendo en cuenta que la plaqueta de acabado se encontraba desacoplada de la placa de concreto reforzado, esta no era apta para el anclaje ni apoyo de los nuevos equipos, por lo tanto se recomendó el reemplazo total de la plaqueta de recubrimiento o en su defecto el reemplazo parcial en las zonas donde estarán instalados los nuevos equipos, para esto se solicitó la instalación de un mortero de nivelación o un concreto de baja retracción.

Para la instalación del nuevo acabado, se indicó una preparación previa de la superficie escarificándola e incluyendo un producto que cumple la función de puente de adherencia entre los dos elementos, adicionalmente se solicitó la instalación de una malla electro soldada al interior de dicho acabado para reducir posibles los efectos de la retracción por temperatura, ver figura 77.

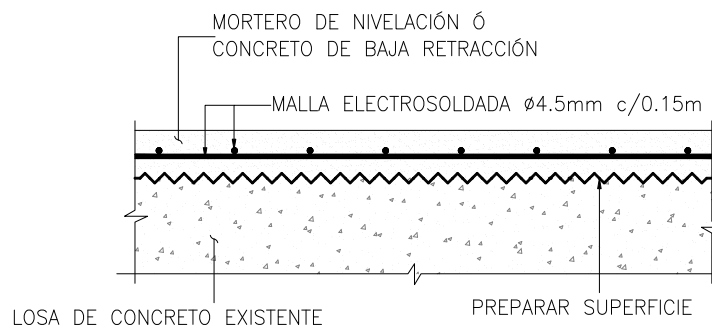


Figura 77. Detalle instalación nuevo acabado (archivo propio)

Para los elementos metálicos afectados por la corrosión, como es el caso de los anclajes de escaleras y barandas, se recomendó ser reemplazados por elementos galvanizados antes de iniciar las operaciones de montaje y operación de los equipos con el fin de evitar algún incidente con los operarios.

Se recomendó realizar el respectivo tratamiento de grietas y fisuras en el andén perimetral de la caseta de bombas, con el fin de disminuir el flujo de agua al interior de las instalaciones.

Por otro lado, se solicitó mejorar los procesos de mantenimiento en especial la limpieza de drenajes, cañuelas y filtros que controlan el paso de agua al interior de la estación de bombeo, ya que la presencia de lixiviados en el concreto puede generar degradación y disminuir su vida útil. Durante las visitas no se observó hinchamientos, deformaciones o rastros de la oxidación del acero de refuerzo del concreto, por lo tanto se concluyó que a la fecha de las inspecciones la capacidad de las placas no está afectada por éste fenómeno, sin embargo se recomendó el tratamiento para el sellado de fisuras del muro pantalla, esto con el fin de disminuir la posibilidad del ingreso de agua al interior de la caseta de bombas que origina el deterioro de los elementos.

Enseñanzas

- Antes de realizar una evaluación estructural, es conveniente realizar una visita y establecer el estado de la estructura, esta puede tener daños o fallas que no se evidencien en un análisis por medio de un programa por computador y si

pueden llegar a afectar la funcionalidad de la estructura en caso de no ser corregidas.

- Para estructuras relacionadas con instalaciones hidráulicas o sometidas a ambientes húmedos, es conveniente utilizar un sistema de protección de galvanizado para los elementos metálicos tales como barandas, soportes de equipos o escaleras, este sistema brindara una mejor apariencia a través de los años y protegerá de forma más eficiente los elementos.
- Gran parte de las fisuras que estaban en la sobre placa o plaqueta de acabado en granito no se traducían a la placa estructural sin embargo, si no se hubieran realizado los apiques, difícilmente se hubiera confirmado este hecho y hubiera dado pie a una mala interpretación del estado real de la placa de sótano.

3.6. Cubierta marquesina – Pandeo de vigas en etapa de montaje

Descripción del proyecto

La cubierta marquesina hace parte de una serie de estructuras destinadas para atención a la comunidad, dicha estructura tiene un área de 392 m², está compuesta por una serie de vigas distribuidas radialmente que se conectan a una viga principal en su parte central, la cubierta (ver figura 78) está apoyada sobre la terraza (nivel +7.0m) de estructura que colinda con el auditorio y tienen una pendiente entre el 5% y el 7%.

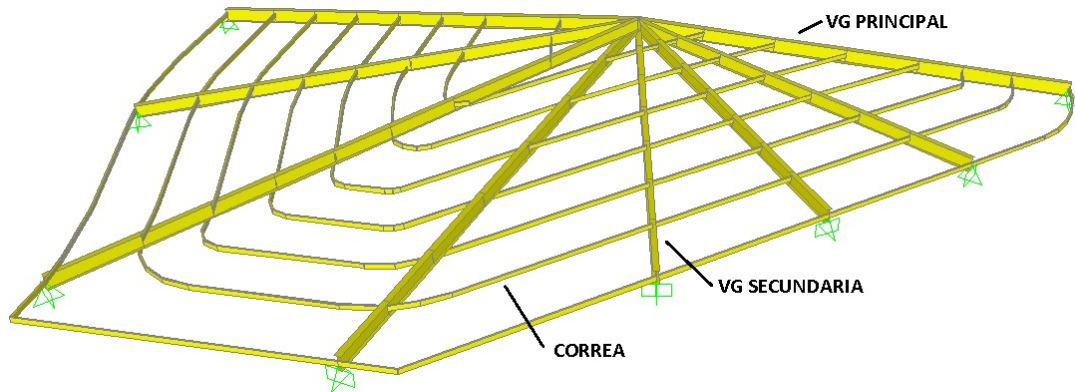


Figura 78. Configuración general de la marquesina (archivo propio)

De acuerdo con el diseño estructural, las vigas están arriostradas lateralmente por correas soldadas en su cara superior e inferior constituidas por perfiles tipo tubular de sección rectangular, a su vez estas correas servirán de soporte tanto para el policarbonato como el cielo raso el cual se instalará en la cara inferior.

El apoyo de las diferentes vigas sobre la cubierta de concreto está compuesto por un pasador que permitirá el giro en una dirección y un sistema de anclaje que genera una restricción al desplazamiento en las tres direcciones, adicionalmente y de acuerdo con lo solicitado por el cliente, las vigas secundarias se fijaran por medio de pernos antes de la llegada a la viga principal para facilitar el montaje.

Fallas o defectos

Durante la construcción, el cliente le solicita al diseñador una visita para verificar el estado de la viga principal de la cubierta marquesina, durante el recorrido se observa que la viga principal ha girado respecto a su eje principal (giro hacia el exterior de la cubierta, ver figura 79) y se evidencia la pérdida de linealidad en una de las vigas secundarias (ver figura 80), adicionalmente se observa que las conexiones de las vigas secundarias están incompletas pues faltan pernos, existen pernos sin apretar y en algunos casos algunas de las perforaciones han sido objeto de correcciones con soplete ya que al instalar las piezas no hubo coincidencia entre las mismas, ver figura 81.

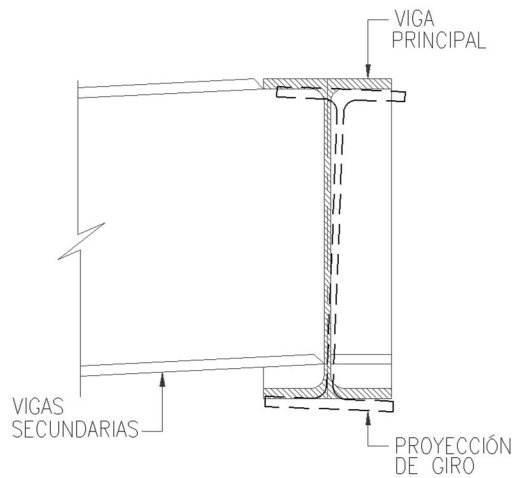


Figura 79. Detalle de giro viga principal (archivo propio)



Figura 80. Detalle de viga secundaria torcida (archivo propio)



Figura 81. Conexiones incompletas (archivo propio)

Para la época de la visita, se observó que gran parte de las correas ya estaba instalada, sin embargo de acuerdo con lo informado por uno de los operarios que participaba del montaje de la estructura, la viga principal empezó a torcerse antes de instalar las correas y después de que se cargará con las vigas secundarias, sin embargo el encargado del montaje no dio aviso sino hasta que las correas habían sido instaladas.

Causa probable

De acuerdo con lo observado en sitio y a lo indagado a uno de los operarios encargados del montaje, el proceso de montaje inicio con la instalación de la viga principal (viga IPE 500) y posteriormente se empezaron a instalar las vigas secundarias (viga IPE 450) por medio de conexiones pernadas, sin embargo no se evidenció un procedimiento de montaje, no se consultó al diseñador respecto al mismo, ni tampoco existió la precaución de apuntalar las vigas mientras se realizaban los trabajos, se apuntalo la viga principal solamente en el momento en que el contratista del montaje detecto el giro en dicha viga.

Al revisar los modelos estructurales, el diseñador realizó una modificación en el modelo original evidenciando que al cargar las vigas solamente por su peso propio y al no existir el arriostramiento lateral que bridan las correas en perfil tubular (ver figura 82), la viga principal y las vigas secundarias reducen su capacidad para soportar la combinación de carga axial y flexión, de tal forma que las cargas actuantes debidas al peso propio, principalmente la carga axial, supera la capacidad de algunos de los perfiles sin arriostrar lateralmente, dentro de los cuales se encontraba la viga principal y dos de las vigas secundarias.

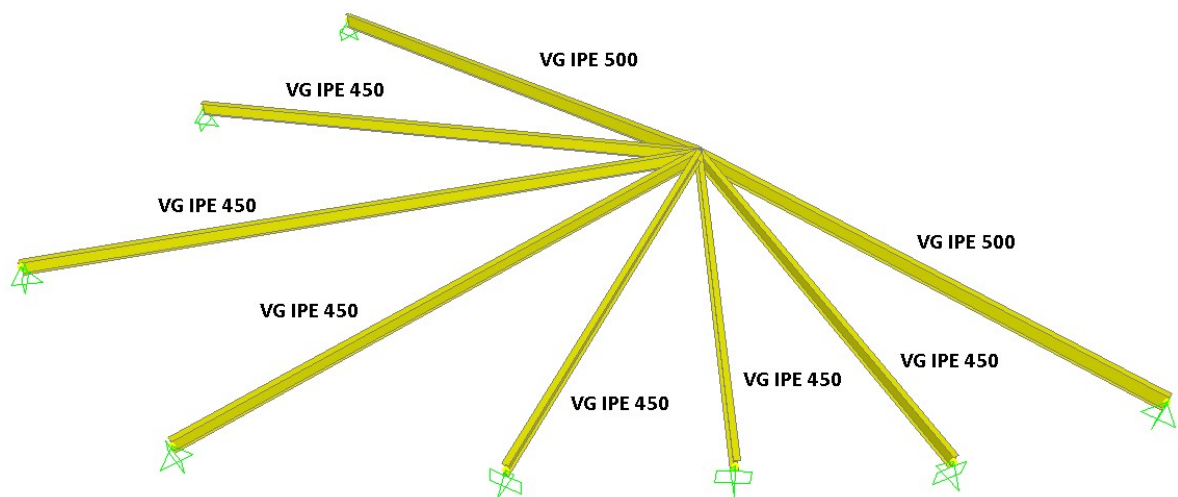


Figura 82. Modificación al modelo estructural original (archivo propio)

De acuerdo con lo anterior, se concluyó que la causa probable de la pérdida de linealidad de los elementos estructurales, se debía al cambio de las condiciones del diseño estructural en la etapa de construcción, en este caso no se realizó un procedimiento de montaje aprobado por el diseñador, que evaluara las condiciones de carga durante el montaje y el comportamiento de los elementos principales en ausencia de las correas las cuales restringían lateralmente las vigas.

En el caso de las conexiones incompletas, el contratista no brindó una razón que justificara la ausencia de pernos ni del porque las perforaciones no coincidían.

Solución propuesta

Como primera medida, se solicitó el apuntalamiento de la viga principal, de tal forma que se aligerara las cargas actuantes en dichos elementos hasta que la estructura estuviera totalmente armada y se completaran las conexiones.

Posteriormente en comité de obra con el fin de evitar el desmonte de la marquesina, se propuso la construcción de una cercha utilizando la viga principal existente como cinta superior (ver figura 83), reduciendo un 38.5% porcentajes de uso debido a la carga axial, lo cual era importante teniendo en cuenta que la viga presentaba alabeo. No obstante como condición para iniciar el armado de la cercha, el constructor debía corregir el alabeo de dicho elemento y realizar el

seguimiento a las deformaciones de la viga principal durante lo que restaba del montaje metálico y al instalar el policarbonato y cielo raso, cuyo seguimiento no había sido efectuado.

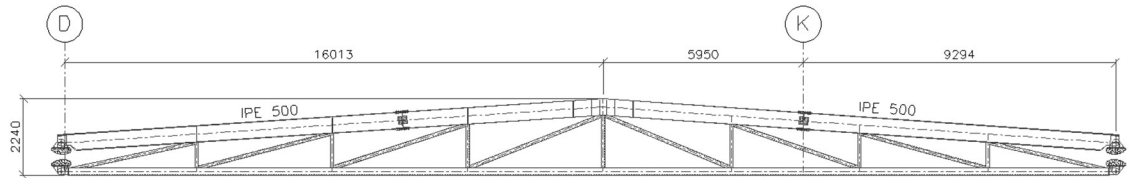


Figura 83. Esquema de cercha armada en la viga principal (archivo propio)

Para el caso del perfil secundario alabeado, se recomendó corregir la pérdida de linealidad del tramo afectado.

Enseñanzas

- Es necesario contar con las especificaciones y procedimiento de montaje para la satisfactoria construcción de estructuras, junto con el visto bueno del diseñador. La falta de arriostramiento lateral de estructuras de acero durante la etapa de construcción es algo a lo que se le debe prestar especial atención.
- Al cargar una estructura se debe verificar que todos sus elementos y conexiones estén completos, en este caso las correas cuya importancia fue subestimada por parte del montador, cumplían la función de arriostrar lateralmente los miembros estructurales principales, algunos de los cuales vieron afectada su capacidad de soportar cargas debido a la ausencia de dicho arriostramiento.

3.7. Edificio residencial – Humedad recurrente en la pared

Descripción del proyecto

El edificio hace parte de una copropiedad compuesta por 11 torres de cinco pisos para uso residencial. Los edificios tienen un sistema estructural de muros de concreto reforzado y fueron construidos hace 37 años. La cubierta del último piso está constituida por una placa no impermeabilizada, sobre la cual se localiza una cubierta inclinada en teja fibrocemento que descarga las aguas a una viga canal en concreto reforzado que se encuentra impermeabilizada. En la cubierta hay un cuarto que alberga cuatro tanques de almacenamiento de agua potable de 1000 L cada uno.

La administración del conjunto realizó a través de una empresa externa el mantenimiento de las bajantes de aguas lluvias, entre esas las de la torre 10. En dicha intervención el operario reemplazó el codo existente en fibrocemento por un codo en $\phi 4$ " en PVC el cual fue empalmeado a una nueva bajante en PVC del mismo diámetro, en el otro extremo del codo se conectó a la viga canal existente, ver figura 84 y 85.



Figura 84. Reemplazo bajante aguas lluvias (archivo propio)



Figura 85. Conexión codo bajante (archivo propio)

Fallas o defectos

Después de realizar la reparación en la bajante de la torre 10 y con el inicio de la temporada de lluvias, apareció una mancha de humedad sobre la pared en donde se apoya la bajante, dicha falla que no fue atendida de manera oportuna por la administración, generando deterioro del acabado el cual terminó por desprenderse del muro. Adicionalmente, cuatro meses después aproximadamente se detectó una serie de goteras en la placa de concreto del techo al interior del apartamento del último piso, en el costado de la canal, episodio que propicio para que el administrador accediera a revisar la falla, ver figura 86 y 87.



Figura 86. Goteras en el techo y mancha de humedad en la pared (archivo propio)



Figura 87. Deterioro generado por la humedad (archivo propio)

Causa probable

Respecto a las goteras de la placa, se evidencio que existía fuga de uno de los tanques de agua, debido a que en días anteriores se realizó el lavado de los tanques, en dicha actividad se manipulo el flotador (sistema que cierra la válvula de alimentación) en el proceso y este no operaba adecuadamente, lo cual

generaba que el agua producto del escape se acumulara cerca a la canal de aguas lluvias y empezara su filtración a través de la placa, adicionalmente se corroboró que la placa no estaba impermeabilizada.

En el caso de la humedad de la pared, el operario detecto que al reemplazar el codo, la empresa contratista solo lo aseguró con mortero al exterior del edificio, pero en el empate del codo con la canal se encontraba suelto, ocasionando que el agua se filtrara en este punto, lo cual se agravaba al caer granizo, pues este bloqueaba la bajante haciendo que el agua se acumulara al interior de la canal haciendo más evidente la humedad al interior del apartamento con los aguaceros fuertes.

Solución propuesta

Teniendo en cuenta que las goteras del techo obedecían realmente a la fuga de agua del tanque, el administrador del conjunto, dio instrucción que cada vez que se lavaran los tanques, el operario de servicios generales debía realizar la inspección del flotador con el fin de evitar un nuevo evento. En este caso la propietaria del apartamento le solicito al administrador que impermeabilizara la placa para disminuir el riesgo de filtraciones en el momento que suceda algo similar, sin embargo el administrador se negó indicando que la placa contaba con una cubierta en teja.

Para el caso de la humedad de la pared, el operario de servicios generales propuso retirar el codo, retirar el material suelto (mortero existente) donde se apoyaba el viejo codo de fibrocemento, picar la superficie de la placa y aplicar mortero de baja retracción, estando fresco el mortero se apoyaría el nuevo codo evitando dejar posibles espacios por donde viajara el agua al exterior, posteriormente se aplicaría un recubrimiento elástico impermeable y flexible en el último tramo de la canal (30 cm antes de la bajante) y que incluyera el arranque del codo de la bajante, de esta forma se reduce la posibilidad de que el agua lluvia se filtre entre el empalme de los dos elementos y se facilitan las condiciones para que el agua siga su curso a la caja de inspección.

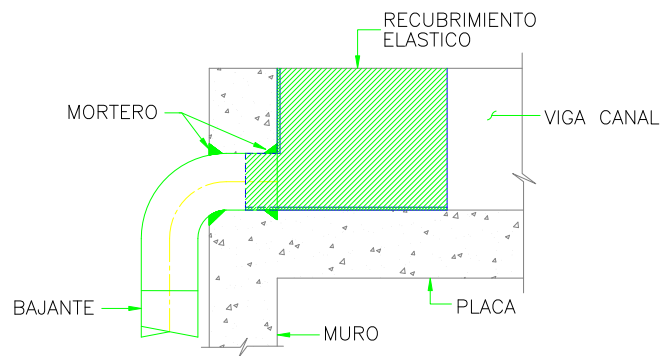


Figura 88. Detalle solución propuesta (archivo propio)

Enseñanzas

- No es necesario ser ingeniero para brindar una solución a una falla, en este caso el operario de servicios generales se valió de su experiencia en casos similares para resolver un defecto ocasionado por el descuido de una empresa especializada.
- Cuando se realice cualquier tipo de reparación o mantenimiento se debe tener la precaución de no afectar otros elementos donde se pueda generar otras fallas a las inicialmente existentes.
- La actitud del administrador contribuyó al deterioro del acabado al interior del apartamento, de prestar una atención inmediata a la falla presentada, la copropiedad no hubiera incurrido en gastos adicionales como el de restaurar el acabado de la pared y techo del apartamento.

3.8. Puente vehicular – Daños en vigas longitudinales

Descripción del proyecto

El puente vehicular hace parte de una de las principales vías arterias de la ciudad de Bogotá, está localizado sobre la intersección de la calle 116 y la autopista norte, cuenta con dos carriles en cada dirección con un galibo de 4.40 m (según señalización) para la calzada lenta y está constituido por columnas, vigas y tablero en concreto, en el costado occidental cuenta con un paso para los vehículos que vienen desde la diagonal 117 con una altura libre de 2.10 m, es decir vehículos de baja altura.

Diariamente la autopista norte es usada para el tránsito de vehículos que ingresan y salen de la ciudad, por tal motivo es muy común el tránsito de vehículos de carga por dicho corredor.



Figura 89. Vista general del puente (www.googlemaps.com)



Figura 90. Planta general localización de vigas (www.googlemaps.com)

Fallas o defectos

El puente vehicular de la calle 116 ha sido protagonista de titulares de noticias y varias intervenciones por parte del Instituto de Desarrollo Urbano – IDU en los últimos años, no solo para su mantenimiento sino para realizar reparaciones en elementos estructurales.

Dentro de las ultimas reparaciones realizadas, resaltan las relacionadas con el deterioro de las vigas de soporte del tablero del puente, pues esta estructura ha sufrido constantemente impactos de vehículos, tanto de carga en las calzadas lenta y rápida como también, por vehículos que transitan en el cruce de la Diagonal 117, ver figura 91.



Figura 91. Impacto de camión sobre cruce diagonal 117 (Laura Paudi - Twitter)

Esta serie de impactos repetitivos generaron un desprendimiento del concreto de la cara inferior de las vigas dejando expuesto el acero de refuerzo (ver figura 92) poniendo en riesgo la estabilidad de la calzada del puente.



Figura 92. Acero de refuerzo expuesto en viga (www.idu.gov.co)

En el año 2013, el IDU realizó el mantenimiento estructural y general del puente vehicular, dentro del cual se realizó el reemplazo de dos vigas externas del costado occidental sentido Norte – sur, calzada lenta y en tramo sobre cruce de la diagonal 117, en este proceso las vigas de concreto con refuerzo expuesto fueron reemplazadas por vigas metálicas, sin embargo en el año 2017 nuevamente el puente fue impactado por un contenedor que transportaba un vehículo de carga afectando gravemente las vigas metálicas reemplazadas obligando el cierre de la calzada (ver figura 93) y a programar una evaluación estructural, donde se resolvió nuevamente el reemplazo de las vigas metálicas y la intervención de del bordillo y el tablero del puente.



Figura 93. Daño en viga metálica por impacto de vehículo de carga (www.lafm.com.co)

De igual forma en el año 2016, la viga metálica del cruce de la diagonal 117, fue nuevamente golpeada por un camión, aunque en este caso el impacto lo recibió inicialmente el pórtico que limitaba la altura de los vehículos que pueden transitar por este vano, ver figura 94.



Figura 94. Impacto en pórtico de señalización (www.bluradio.com.co)

Causa probable

En la calzada lenta, la causa más probable en este caso, puede estar originada en el galibo de 4.40 m que tiene actualmente el puente el cual es inferior a los 4.50 m del código de puentes CCP-200-94, dicha reducción pudo estar originada cuando llevo a cabo algún tipo de mantenimiento en la calzada o desde su construcción como fue el caso de los puentes de la calle 26 sobre la Avenida Boyacá, donde fue necesario fresar el pavimento 15 cm de la Boyacá para cumplir con el galibo mínimo de 4.50 m en el año 1995.

Sin embargo, al verificar el registro fotográfico de la época, si existía la señalización donde indicaba un altura libre de 4.40 m la cual coincide con dimensión revisada en sitio para el caso de la calzada lenta, por lo tanto, otra causa probable que dio lugar al suceso, fue la desatención por parte de los conductores a las señales viales donde se indica la altura libre para el tránsito de vehículos, el daño provocado en las vigas fue ejercido por vehículos cuya altura superaba el galibo del puente y se desconoció la relación de altura entre la carga y la estructura.

No obstante, se debe tener en cuenta que no es el único puente que ha tenido dicho tipo de fallas y en algunos casos se debe a la errónea señalización en dichas estructuras, en el año 2018 en el consejo de Bogotá se denunció que de los 402 puentes, solamente el 63% cumplen con la altura mínima de 4.50 m, el 11% no cumple y no hay información confiable del restante de los puentes, es decir 26%, vale la pena anotar que actualmente la construcción de puentes se rige por la Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14) donde el galibo mínimo es de 5.0 m de altura.

Como ejemplo de errónea señalización, se tiene la experiencia del traslado del fuselaje de un avión DC-9 con una longitud de 33 m por la calle 26 en el año 2017, cuya logística fallo al tratar de pasar por el puente peatonal de la avenida Ciudad de Cali pues de acuerdo con los operarios, el puente estaba mal señalizado y el fuselaje no alcanzo a pasar debajo de la estructura, por lo tanto el trafico estuvo detenido hasta que se retiró una antena del avión para reanudar la tarea, sin embargo llama la atención de que una empresa con experiencia no haya verificado

previamente la altura de las estructuras teniendo en cuenta la magnitud de la carga que se iba a transportar. Ver figura 95.



Figura 95. Fuselaje de avión detenido (www.noticias.caracoltv.com)

Para el caso del cruce de la diagonal 117, sin duda alguna, los impactos generados se deben a que no se sigue la indicación de la altura máxima de 2.10 m, lo cual se confirma con el estado actual del pórtico, el cual se encuentra ya deformado por los repetidos golpes de vehículos de mayor altura a pesar de la señalización y la buena iluminación de la zona, ver figura 96.

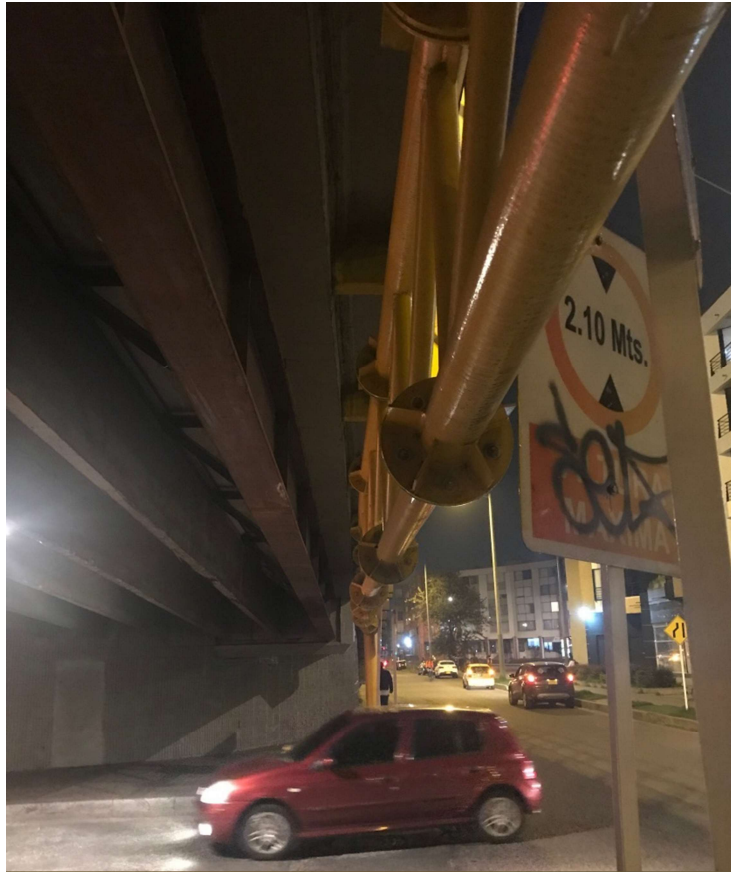


Figura 96. Pórtico afectado cruce diagonal 117 (archivo propio)

Solución propuesta

Para este caso en particular y teniendo en cuenta que a pesar de la señalización donde claramente se da a conocer la altura libre de las estructuras, además de otras señales como la de prohibido el tránsito para camiones en el cruce de la diagonal 117, el IDU optó por instalar dos pórticos de color amarillo, para la calzada lenta este pórtico metálico cuenta con dos indicaciones adicionales del galibo del puente correspondiente a 4.40 m en color rojo y fueron instaladas dos piezas móviles en las cuales podrá chocar el vehículo sin generar daño dando aviso inmediato de que el vehículo es más alto que la distancia libre disponible para cruzar debajo del puente, ver figura 97.



Figura 97. Pórtico calzada lenta autopista norte (archivo propio)

Para el caso del tramo en el cruce de la diagonal 117, se instaló un nuevo pórtico que limita la altura a 2.10 m y que servirá de barrera en caso de que un vehículo más alto intente transitar por esta zona (ver figura 98) de esta forma se reduce el riesgo de impacto por cargas extra dimensionadas y se reduce el costo de reparación de la estructura.



Figura 98. Pórtico cruce diagonal 117 (archivo propio)

Enseñanzas

- Cuando se realice el transporte de carga extra dimensionada, se debe realizar un procedimiento de transporte de la carga donde se documente un recorrido previo de la ruta y se verifique la posición de obstáculos o alturas libres de puentes u otras estructuras que puedan interferir con el libre tránsito de la carga.
- Es conveniente que se realice la verificación del galibo de los puentes existentes en la ciudad y se realice la respectiva sustitución de la señalización donde se requiera con el fin de reducir el riesgo de impacto de vehículos.
- Al realizar mantenimiento o construcción de vías que contemplen cruces de puentes, se debe realizar un trabajo de topografía que permita llevar un control del galibo de los puentes durante el desarrollo de los trabajos.

3.9. Edificio de oficinas – Fisuramiento prematuro de vigas de cubierta

Descripción del proyecto

Un edificio de dos pisos destinado a oficinas, está constituido por un sistema estructural de pórticos de concreto reforzado, el entrepiso está conformado por una placa aligerada y en su cubierta, sobre las vigas de concreto se apoya una serie de cerchas en perfiles metálicos, que a su vez soportan una cubierta liviana tipo sándwich.

El edificio se encontraba en etapa de construcción, se estaban fundiendo columnas de segundo piso y se iniciaría con la fundida de vigas de cubierta, sin embargo existían retrasos en la programación de obra y se evidenciaba en los comités el afán para realizar el montaje de la estructura metálica para instalar la cubierta y así iniciar con los trabajos de acabados.

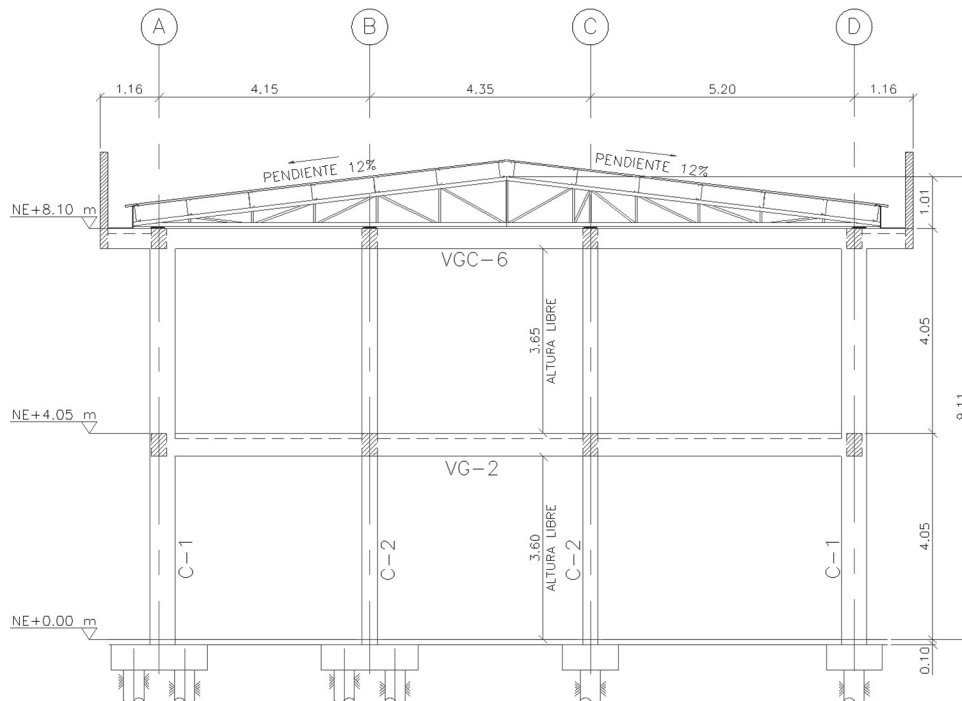


Figura 99. Corte transversal edificio (archivo propio)

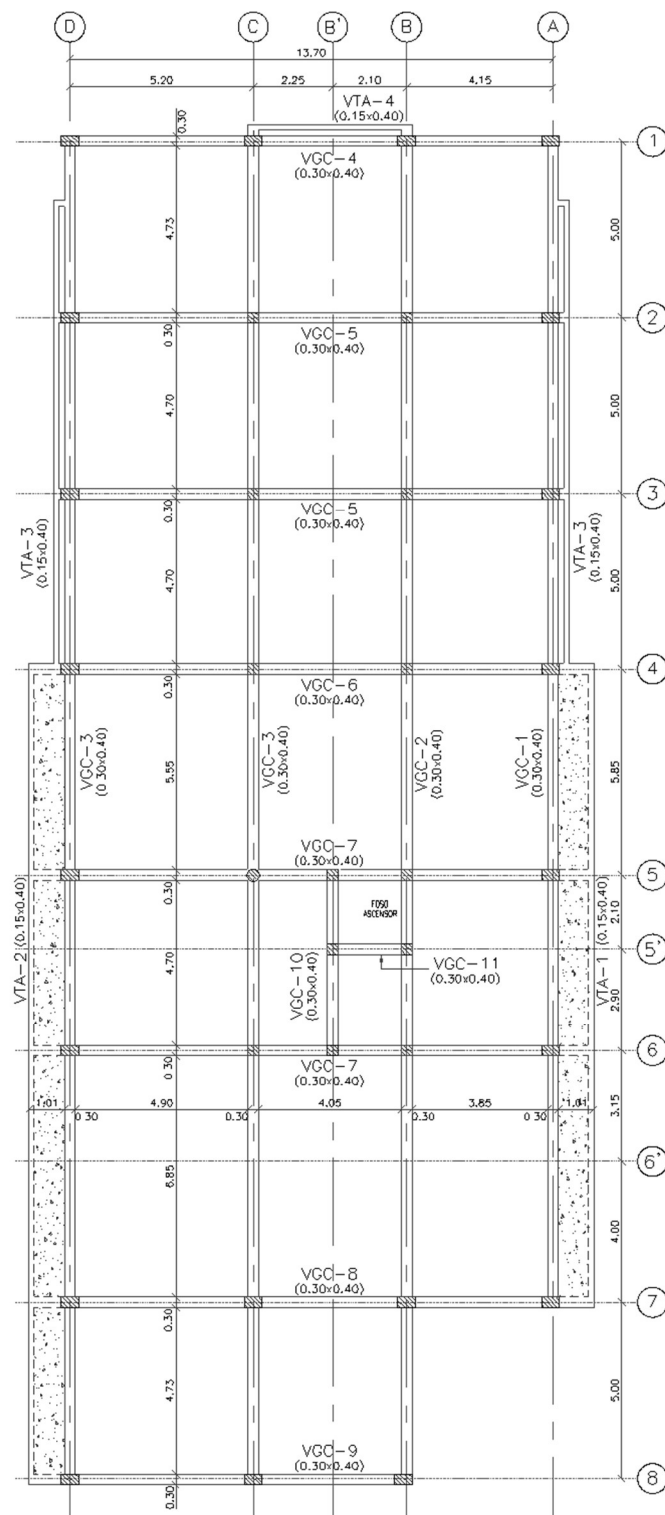


Figura 100. Planta general vigas de cubierta (archivo propio)

Como información adicional, se conocía que el concreto utilizado en la fundida de las columnas del segundo piso era del tipo convencional con resistencia a 28 días $f'_c = 21$ MPa, sin embargo no se sabía el tipo de concreto que se utilizó en las vigas de cubierta, ya que en uno de los comités el constructor tenía la idea de usar concreto acelerado.

Fallas o defectos

En la etapa de montaje de las cerchas metálicas de cubierta uno de los operarios detectó una serie de problemas, principalmente en las vigas de concreto, por lo tanto se suspendió la actividad informando al cliente, quien después de evidenciar lo advertido, solicitó la visita del diseñador para realizar una revisión de dichos hallazgos.

Con el fin de realizar un estudio independiente, el diseñador decidió contratar una empresa externa para realizar el estudio de patología, que se desarrolló de acuerdo con la siguiente metodología:

- Inspección visual de la estructura, haciendo énfasis en la planta de segundo piso, específicamente vigas de cubierta y columnas.
- Revisión de resultados de laboratorio de las muestras tomadas en sitio durante el vaciado del concreto.
- Esclerometría comparativa en vigas para verificación de calidad del concreto.
- Medición y registro de deflexión en vigas de cubierta.
- Medición de fisuras y grietas en vigas de cubierta.

Durante la visita técnica, el profesional encargado del estudio evidenció los siguientes aspectos y hallazgos:

- La resistencia del concreto utilizado en las vigas de cubierta era de $f'_c = 29$ MPa, 38% mayor que lo especificado en los planos de diseño, que era 21 MPa.
- Agrietamiento de la cabeza de la columna C5, ver figura 101.



Figura 101. Agrietamiento en cabeza de columna segundo piso (archivo propio)

- Fisuras en la parte superior de las columnas C3 Y B3, ver figura 102.

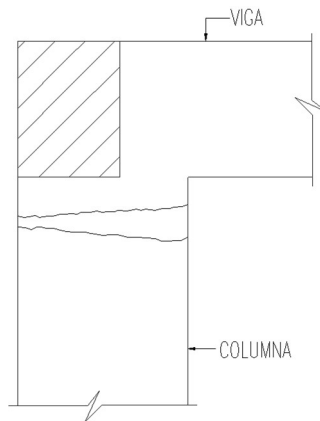


Figura 102. Fisuras en cabeza de columna segundo piso (archivo propio)

- Hormigueros en la parte inferior de la columna A1.
- Para el caso de las vigas VGC-8 y VGC-9 entre C y D, VGC-4, VGC-5 y VGC-6 entre B y C, en general se presentó fisuramiento en el apoyo en forma diagonal (ver figura 103) y agrietamiento horizontal en la parte superior de las vigas (ver figura 104), se observó dos tiempos de vaciado, el primero con una altura de 36 cm medidos desde la cara inferior y el otro en la parte superior con una altura de 4 cm, adicionalmente se presentan deflexiones en el centro de las

vigas entre 1.5 cm y 2.5 cm cargando solo su peso propio y adicionalmente se detectó refuerzo expuesto en la cara inferior de las vigas.

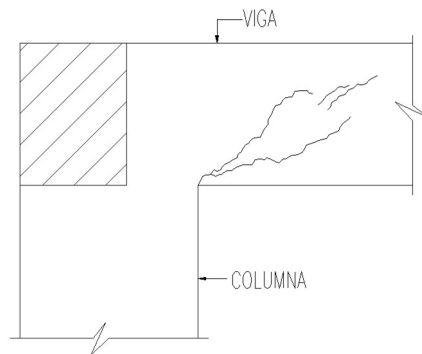


Figura 103. Fisuras en apoyo de vigas de cubierta (archivo propio)

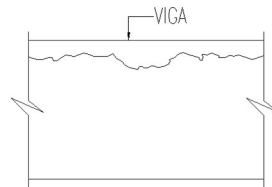


Figura 104. Agrietamiento en la parte superior de vigas (archivo propio)

- Abultamiento en la cara inferior de las plaquetas en zonas de voladizos, ver figura 105.

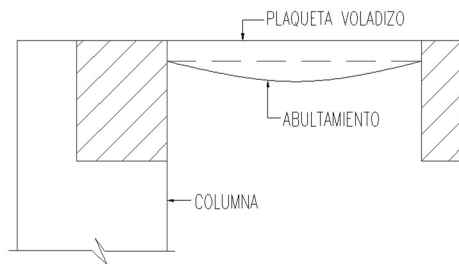


Figura 105. Abultamiento en plaquetas-voladizo de cubierta (archivo propio)

Causa probable

En el caso de las patologías presentadas en la parte superior de las columnas, el profesional consideró que la causa más probable fue la incorrecta manipulación de la formaleta pues probablemente se retiró de manera temprana para armar la

formaleta de las vigas de cubierta; en el caso de los hormigueros se debió a un inadecuado procedimiento del vaciado teniendo en cuenta la distribución no uniforme de la mezcla y probablemente falta de vibrado.

Los defectos presentados en las vigas, probablemente se debían al asentamiento plástico de la masa de concreto de acuerdo con lo manifestado por el ingeniero patólogo, causado probablemente por un descimbrado temprano, el cual se evidenció por las deflexiones verticales medidas en dichas vigas y las fisuras cerca a sus apoyos, aun cuando la estructura no ha sido cargada. Adicionalmente como se indicó en la descripción, es posible que se hubiera usado concreto acelerado en la fundida de vigas de cubierta, sin embargo esto no fue confirmado por el estudio de patología pues tal vez no le entregaron la información completa o limitaron la entrega de información.

En el caso de los abultamientos el profesional indicó que debió a la falla de la formaleta utilizada, constituida por una teja de zinc que no fue capaz de soportar la carga del volumen de concreto, deformándose y generando dicho abultamiento.

Solución propuesta

En las zonas de columnas donde se presentaron daños, el profesional recomendó realizar una reparación retirando las zonas fracturadas o con hormigueros, picando la zona alrededor y retirando elementos sueltos, aplicar puente de adherencia y posteriormente aplicar mortero de reparación con resistencia similar o superior a la del concreto existente.

Para el caso de los abultamientos en zonas de las plaquetas de voladizos, el ingeniero indicó la necesidad de retirarlos, teniendo en cuenta la sobrecarga que se genera en la estructura, dicho procedimiento se debería llevar a cabo por medio de martillo eléctrico de baja energía cuidando no afectar otros elementos de concreto.

Por último para las vigas, el estudio recomendó picar y retirar las zonas fracturadas, aplicar los inhibidores de corrosión al acero de refuerzo que estén

expuestos y aplicar mortero de reparación, como tratamiento de las fisuras, estas debían ser inyectadas a presión con resinas epóxicas.

Enseñanzas

- Se deben respetar los tiempos de curado del concreto reforzado que permita tener una resistencia para soportar su propio peso o de otros elementos, de esta forma se evitan daños, pues estos no solo pueden ser de carácter estético sino pueden llegar a ser daños estructurales que impliquen una gran intervención para su reparación.

- Antes de tomar una decisión en obra como es el desencofrar antes de tiempo, se deben prever las implicaciones que acarrearán antes de llevar a cabo dicha determinación, no solo pueden existir afectaciones a la estructura, también podrían existir daños que solo se evidencien una vez la estructura este en uso y poner en riesgo a sus ocupantes.

- Usar elementos adecuados para formaletas o en su defecto calcular que tengan la resistencia para soportar las cargas impuestas en etapa de construcción.

3.10. Bodega almacenamiento liviano – Rotura placa de contrapiso

Descripción del proyecto

La edificación de un piso, consta de cubierta liviana, muros de fachada en bloque de concreto abuzardado y placa de contrapiso tipo aérea, apoyada sobre pilotes. La placa, diseñada para soportar el almacenamiento de una bodega tipo liviana, está constituida por una torta superior de espesor 5 cm y vigas descolgadas, apoyadas sobre los pilotes localizados en intersección de las vigas para transmitir las cargas a los estratos portantes por medio de fricción.

Se decidió apoyar la placa de contrapiso en pilotes, de acuerdo con las recomendaciones del ingeniero de suelos, debido a que el suelo no era capaz de soportar cargas de almacenamiento, ya que era relleno de material orgánico hasta una profundidad de 3.0 m según las exploraciones del estudio geotécnico.

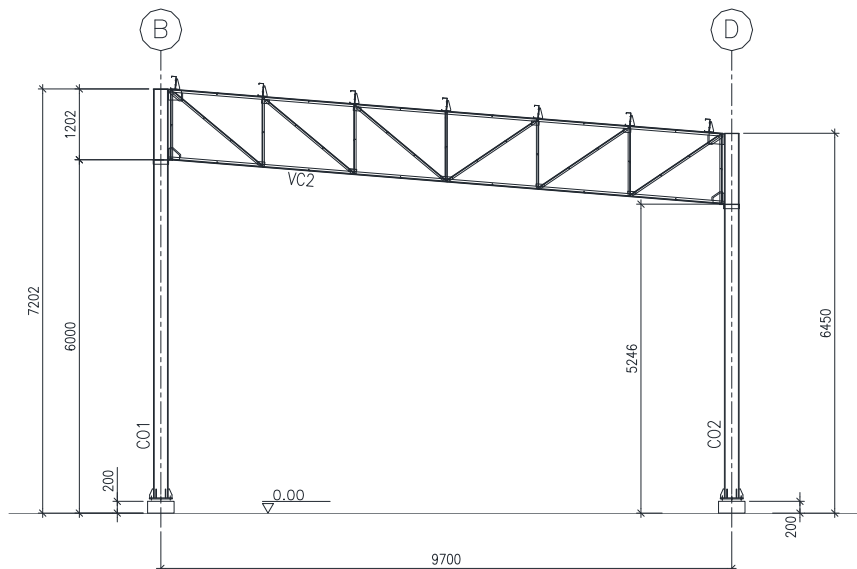


Figura 106. Corte transversal bodega liviana (archivo propio)

Fallas o defectos

Después de finalizar las obras y de haber recibido la estructura, el cliente impartió la orden de su puesta en servicio y de forma inmediata se inició el almacenaje de una serie de equipos de aire acondicionado livianos con una carga cercana a los 150 kg, los cuales se apilaban en grupos no mayores a tres, dichos equipos se introducían a la bodega por medio de un pequeño montacargas.

En medio de la actividad en uno de los recorridos del montacargas, la torta superior cedió en un sector y falló, quedando el equipo atrapado en uno de los casetones, ver figura 109.



Figura 109. Falla de placa de contrapiso (archivo propio)

De inmediato se suspendieron las actividades de almacenamiento de los equipos, se detectó en una zona importante de la placa una serie de fisuras en la torta superior y falla de la misma en otros sectores, originadas por peso del equipo a lo largo de una serie de juntas longitudinales, ver figura 110.

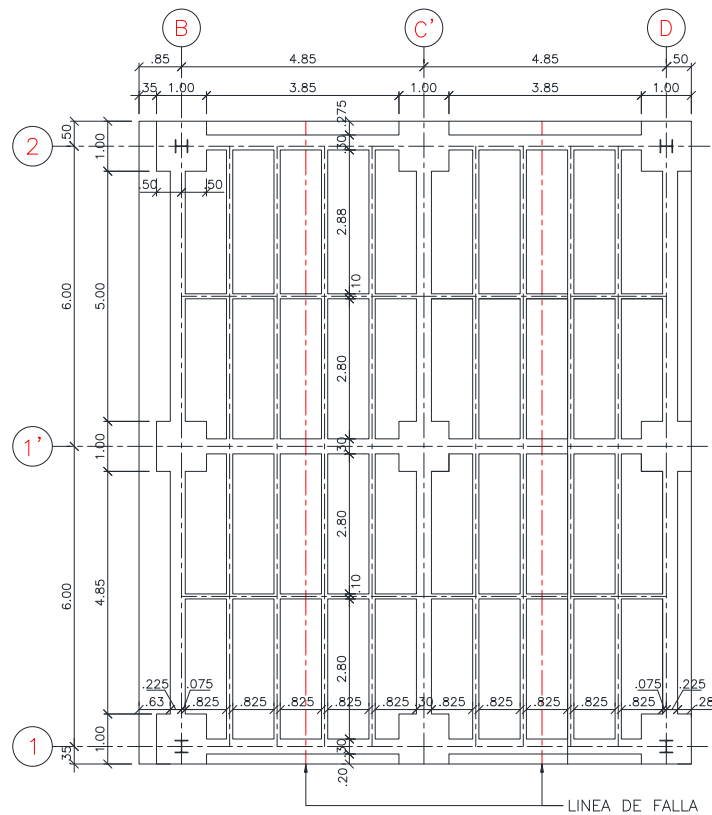


Figura 110. Línea de falla placa de contrapiso (archivo propio)

Causa probable

En principio se pensó que había un error en el diseño de la loseta superior por lo tanto, se procedió a solicitar visita del diseñador estructural, quien observó que se había hecho una serie de juntas de contracción que no estaba indicada en los planos de diseño y se evidenció que la localización de estas juntas, coincidía con la de las fallas presentadas en la placa.

Debido a este hallazgo, se procedió a realizar una exploración y se encontró que al pasar el disco para elaborar dichas juntas, este se profundizó aproximadamente 4 cm cortando a su paso la malla electrosoldada correspondiente al acero de refuerzo de la loseta superior.

Se realizó la inspección y se concluyó que al cortar el acero y al aplicar la carga sobre la loseta, esta trabajaría como un voladizo, con esto la cuantía instalada no era suficiente para el esfuerzo a flexión que se iba presentar y por lo tanto fallo.

Solución propuesta

Debido a que la loseta superior estaba fisurada en unos segmentos importantes y que cualquier arreglo reflejaría una losa reparada, se recomendó que se demoliera solamente la torta superior (5 cm) y se volviera a fundir, con esto la apariencia de la losa sería de un producto nuevo y se recibiría a satisfacción por parte del cliente.

Enseñanzas

- Cualquier procedimiento que se realice en obra y no este contemplado en los planos de diseño, se debe consultar al diseñador para prevenir posibles consecuencias negativas.

- Se debe tener precaución al realizar juntas en elementos de concreto pues el acero de refuerzo no debe ser afectado por las mismas.

- En ocasiones, construir de nuevo un elemento de concreto resulta más económico que realizar reparaciones, además brindan un mejor acabado y el cliente final estará más conforme respecto al producto terminado.

3.11. Vía local – Rugosidad y micro fisuración de carpeta asfáltica

Descripción del proyecto

Un segmento vial en la ciudad de Bogotá fue priorizado para su mantenimiento (demolición de la carpeta asfáltica existente deteriorada y colocación de una nueva mezcla densa en caliente), ya que presentaba piel de cocodrilo, baches y huecos. Ver figura 111.

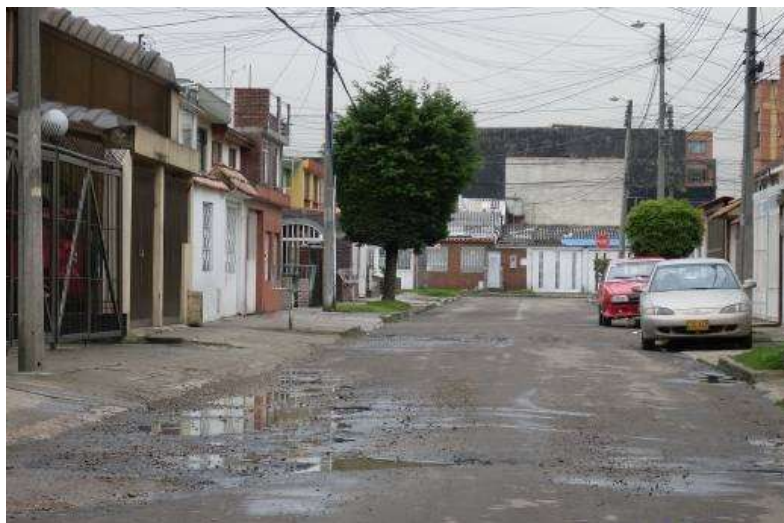


Figura 111. Segmento vial para mantenimiento (archivo propio)

Fallas y defectos

Al demoler la carpeta asfáltica y con el tránsito de la maquinaria pesada, se evidenció un fallo de aproximadamente 10 metros lineales por el ancho de la vía (6.0 m) en el material granular remanente de la estructura de pavimento. El fallo presentaba hundimiento del material granular respecto a la rasante y presencia de grietas longitudinales y transversales en el mismo.

Se vio la necesidad de excavar e indagar la causa del fallo, detectó que el empate entre el collarín del contador de agua potable de una de las viviendas y la domiciliaria del mismo tenía una fuga. Por lo anterior se solicitó a la Empresa de Servicios Públicos el arreglo de la fuga, luego de ser reparada se procedió a aplicar la mezcla densa en caliente, ver figura 112.



Figura 112. Segmento vial terminado (archivo propio)

Al mes siguiente de realizado el mantenimiento y reparado la fuga, se encontró que en el área de influencia del escape de agua, se observaban nuevamente defectos en la carpeta, rugosidades, pliegues, desplazamientos y aparición de microfisuras, ver figura 113.



Figura 113. Defectos en la carpeta asfáltica (archivo propio)

Causa probable

Se solicitó concepto de especialistas en pavimentos y concluyeron que era necesario realizar una excavación para indagar y encontrar la posible causa de dichas patologías.

Al realizar la actividad de excavación, los especialistas pudieron observar la existencia de una lámina de agua atrapada entre el material granular a una profundidad aproximada de 0,10 m de la rasante, de igual forma se pudo evidenciar humedad entre la interface de la carpeta asfáltica y el material ligante lo cual no era normal, ver figura 114.

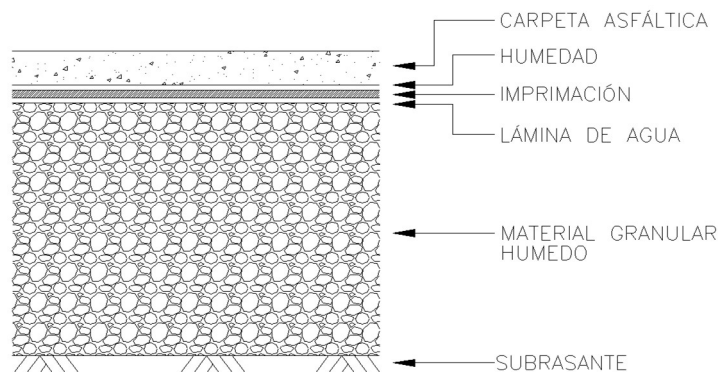


Figura 114. Hallazgos producto de la excavación (archivo propio)

De lo anterior, los especialistas pudieron concluir que la causa probable fue que debido a la interconexión de vacíos y la evaporación del agua por el incremento de la temperatura en el momento de instalación de la mezcla asfáltica, la lámina de agua localizada en el material granular, migró y se alojó en la interface entre la capa de mezcla asfáltica y la imprimación (ligante con el material existente), dejando una película de agua que no permitió que la imprimación cumpliera su función de ligar el material granular existente con la carpeta asfáltica dando origen a las patologías descritas.

Solución propuesta

Se recomendó reponer el material granular saturado y volver a aplicar el ligante y posteriormente la capa de mezcla asfáltica, se realizó seguimiento por un año tiempo en el cual no se observó falla alguna o repetición del evento.

Enseñanzas

- Al realizar reparaciones en las estructuras de pavimentos existentes, por daños debidos a presencia de agua filtrada o atrapada, se debe eliminar la presencia del fluido y verificar que no exista el mismo sobre o al interior de los materiales erodables, como lo son las bases granulares utilizadas en el proceso de construcción del pavimento.
- En el mantenimiento, rehabilitación y/o construcción de cualquier tipo de pavimento, se debe tener en cuenta el porcentaje mínimo y óptimo de humedad de los materiales granulares a instalar, así como la construcción de un drenaje apropiado para el manejo de aguas lluvias. Con lo anterior se minimiza la presencia de agua en materiales erodables y que pueden afectar a corto plazo los pavimentos. Permitir el drenaje de humedades altas en materiales granulares antes de la instalación de las carpetas asfálticas y en general de los pavimentos.

3.12. Hangar – Fisuración placas de piso

Descripción del proyecto

Durante la construcción de la estructura de un hangar destinado para mantenimiento de pequeñas aeronaves, el cliente realizó una contratación adicional para la construcción del mezanine, fachadas, puertas y adecuación de la placa de contrapiso existente, que serviría para tránsito y estacionamiento durante las labores de reparación y mantenimiento de los aviones.

Inicialmente, solo existía el piso o pavimento en concreto la cual sería objeto de adecuación y una serie de contenedores dispuestos como talleres para el mantenimiento de las aeronaves, la cual tenía un área de 2100 m² aproximadamente y una particularidad en sus juntas, pues longitudinalmente no coincidían, solamente había continuidad en el sentido transversal (ver figura 115), el piso en concreto tenía juntas conformando placas de 3.50 m x 3.00 m aproximadamente.

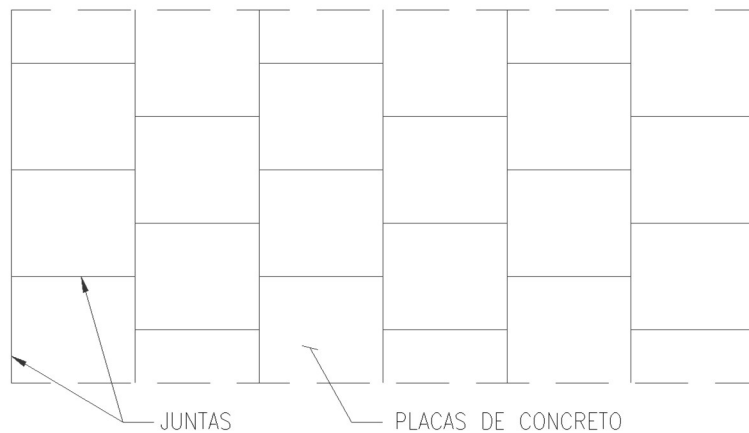


Figura 115. Vista en planta distribución de placas (archivo propio)

La placa de contrapiso tenía un espesor de 15 cm y estaba apoyada sobre un relleno de 60 cm aproximadamente, la adecuación de esta placa contemplaba la instalación de pintura de poliuretano color azul para hangares con el fin de realizar la demarcación de áreas de trabajo y proteger los pisos pues estarían expuestos a derrames de lubricantes y grasas provenientes del trabajo en las aeronaves.

Fallas o defectos

De acuerdo con la solicitud de trabajo adicional donde se realizaría la adecuación de la placa de contrapiso y teniendo en cuenta que el contratista constructor del hangar tuvo que realizar una serie de perforaciones en la placa de contrapiso para el emplazamiento de la cimentación de la estructura, se procedió a realizar una revisión de los pisos de concreto para evaluar el estado de los mismos antes de la instalación de la pintura de poliuretano.

En dicha revisión se evidenció una serie de fisuras (ver figura 116) en algunas de las placas que se repetían en varios segmentos del área.



Figura 116. Fisuras en placa de piso (archivo propio)

Dichas fisuras en ese momento no representaban una falla funcional para la placa, pero si podían generar defectos en la aplicación de la pintura de poliuretano ya que dichos daños podían reflejarse en la superficie, generando un acabado inadecuado pues algunas de las fisuras presentaban desprendimientos superficiales.

Causa probable

Se pueden determinar varias causas probables, la primera de ellas puede estar relacionada con una contracción por secado en etapa constructiva de las placas de concreto, la exposición sol, al viento y a otros agentes, pudieron generar perdida

acelerada del contenido de humedad llevando a la fisuración de los elementos, la cual probablemente pudo ser más contundente debido a la ausencia de acero de refuerzo que hubiera ayudado a controlar la contracción de la masa; pues mientras se realizaba la demolición para la construcción de la cimentación del mezanine al interior del hangar, se encontró que las losa no tenía acero de refuerzo y se partía en bloques (ver figura 117), en otras zonas se encontró una parrilla pero debajo de la placa existente.



Figura 117. Demolición de placa zona mezanine (archivo propio)

Otra causa probable para la aparición de las fisuras es la expansión y contracción por temperatura de la masa de concreto, por un largo periodo de tiempo las placas estuvieron expuestas a la intemperie y no fue sino hasta ese lapso que se asignó el presupuesto para la construcción de la cubierta del hangar, la cual se encontraba en curso cuando se encontró las fisuras en las losas.

La constante exposición a los factores atmosféricos y a los cambios de extremos de temperatura de la sabana de Bogotá, pudieron haber provocado que los segmentos de placa sufrieran procesos de expansión y contracción, además de esto es probable que la no coincidencia de las juntas en una de las dos direcciones, propiciara para que se concentraran esfuerzos de expansión en la parte central de las placas adyacentes generando fisuras en dichos puntos.

Solución propuesta

Teniendo en cuenta que las placa de contrapiso estaría cubierta por la nueva estructura del hangar, lo cual reducía su exposición a los cambios térmicos, se determinó que lo más conveniente era realizar el sellado de fisuras antes de la aplicación de la pintura de poliuretano, de esta forma se reducía la posibilidad de que la pintura se afectara en su acabado final en la superficie debido a las fisuras, lo cual podría repercutir una solicitud de garantía por parte del cliente.

De acuerdo con lo anterior se recomendó el sellado de fisuras por medio de inyección a presión con un punto de entrada y uno de salida, teniendo cuidado de sellar antes la superficie de la fisura para evitar que el material inyectado se salga antes de gelificase, sin embargo se recomendó tener especial cuidado, pues al tratarse de una placa apoyada sobre un relleno, a pesar de servir como sello en cara inferior, también podría ocasionar daños como bloquear el sistema de drenaje de la inyección.

Una vez realizada la reparación de las fisuras y otros daños de la superficie, se preparó la superficie de las placas generando el perfil de anclaje requerido y se procedió a aplicar la pintura de poliuretano, dando como resultado un buen acabado en general, ver figura 118.



Figura 118. Instalación de pintura en pisos (archivo contratista)

Enseñanzas

- Es necesario implementar las medidas necesarias en obra con el fin de conservar la humedad cuando el concreto se encuentre aun fresco, de lo contrario una perdida acelerada de la misma puede causar daños en su superficie tales como fisuras.
- No es adecuado dejar juntas de construcción escalonadas estas deben ser continuas, pues esta configuración puede generar esfuerzos cuando exista expansión y contracción térmica propiciando la aparición de daños en piezas adyacentes.
- Antes de realizar el mantenimiento de un elemento estructural, se debe hacer una revisión de su estado con el fin de evitar posventas futuras por daños ocasionados debido a defectos preexistentes en el elemento.

3.13. Edificio residencial – Asentamiento diferencial cubiertas auxiliares

Descripción del proyecto

La estructura corresponde a un edificio residencial de 6 pisos, el primero está destinado para locales comerciales, administración y salón social, mientras que los otros 5 pisos fueron diseñados para vivienda, el sistema estructural corresponde a mampostería reforzada con placas de entrepiso prefabricadas, cuenta con 6 cubiertas auxiliares localizadas en el primer piso para locales y adicionalmente los parqueaderos están localizados en una bahía en la fachada frontal del edificio.



Figura 119. Vista general del edificio (archivo propio)

La estructura fue entregada a sus propietarios hace 24 años aproximadamente y se encuentra localizado en la localidad de suba, donde predominan los suelos arcillosos, actualmente el edificio ha presentado un asentamiento de 20 cm aproximadamente medidos respecto al borde del andén, ver figura 120.



Figura 120. Detalle del asentamiento del edificio respecto al andén (archivo propio)

Fallas o defectos

Actualmente el edificio presenta un asentamiento diferencial en las cuatro de las seis cubiertas auxiliares localizadas en las esquinas del edificio en el primer piso, presentando un desnivel aproximadamente de 15 cm, el cual fue corregido hace unos 5 años aproximadamente por la copropiedad reemplazando la columneta existente de concreto por un perfil metálico, pero al cabo del tiempo se está volviendo a presentar el defecto, generando un mal aspecto y riesgo para los usuarios que transitan por el corredor, pues el apoyo sobre el edificio ha empezado a girar presentando fisuras y desprendimientos, ver figura 121 y 122.



Figura 121. Detalle desnivel sentido transversal cubiertas (archivo propio)



Figura 122. Detalle desnivel sentido longitudinal cubiertas (archivo propio)

Causa probable

De acuerdo con lo comentado por los propietarios de los locales, las cubiertas auxiliares no existían cuando fue entregado el proyecto, por lo tanto al llover el agua se entraba fácilmente por debajo de la puerta de los 4 locales ubicados en los extremos del edificio, cuya planta estructural tiene forma de triángulo.

Como alternativa de solución a esta falla, la constructora adoso una cubierta auxiliar sobre cada uno de los locales, con una columneta en concreto reforzado en uno de sus extremos y apoyada sobre la mampostería del edificio sus otros extremos, con esto el agua lluvia era recolectada por la placa aérea de dichas cubiertas.

Aunque en ese momento se resolvió el problema de ingreso de agua lluvia a los locales, al cabo del tiempo, a medida que el edificio se asentaba no sucedía lo mismo con la columneta de concreto de la esquina de cada cubierta, pues esta no descendía al mismo ritmo dando como resultado que las cubiertas quedaran inclinadas y con riesgo de caída.

De acuerdo con los planos estructurales del edificio que se recopilaron, los cuales reposaban en la oficina de administración, efectivamente ni la estructura ni la cimentación del edificio contemplaban dichas cubiertas auxiliares (ver figura 123 y 124). Debido a lo anterior se consideró que la causa más probable de dicho asentamiento diferencial era que la columneta de borde fue apoyada sobre una zapata aislada de acuerdo con lo comentado por lo propietarios y no está conectada con el resto de la cimentación del bloque, adicionalmente, la carga sobre dichas cubiertas es mucho menor que la del edificio propiciando que tenga un asentamiento significativamente menor que el edificio.

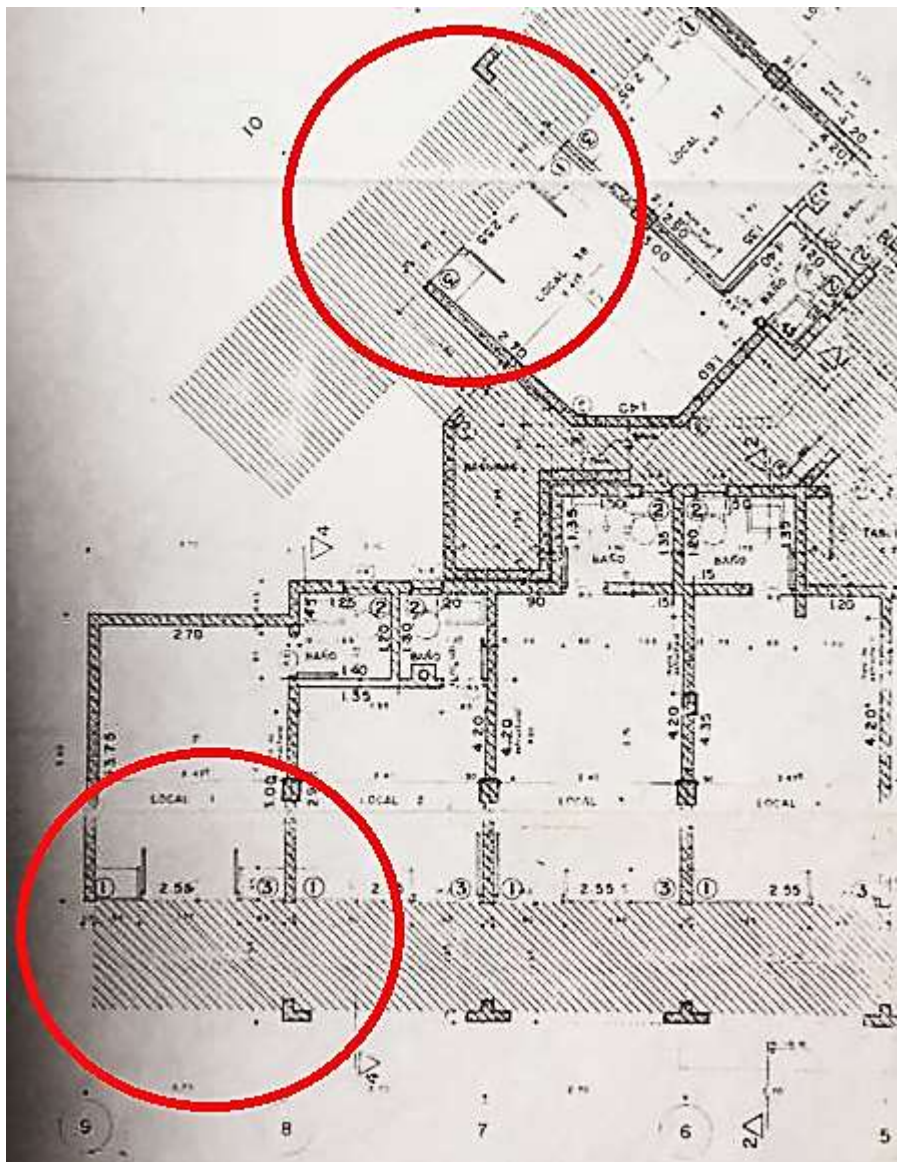


Figura 123. Posición cubiertas costado oriental (archivo administración edificio)

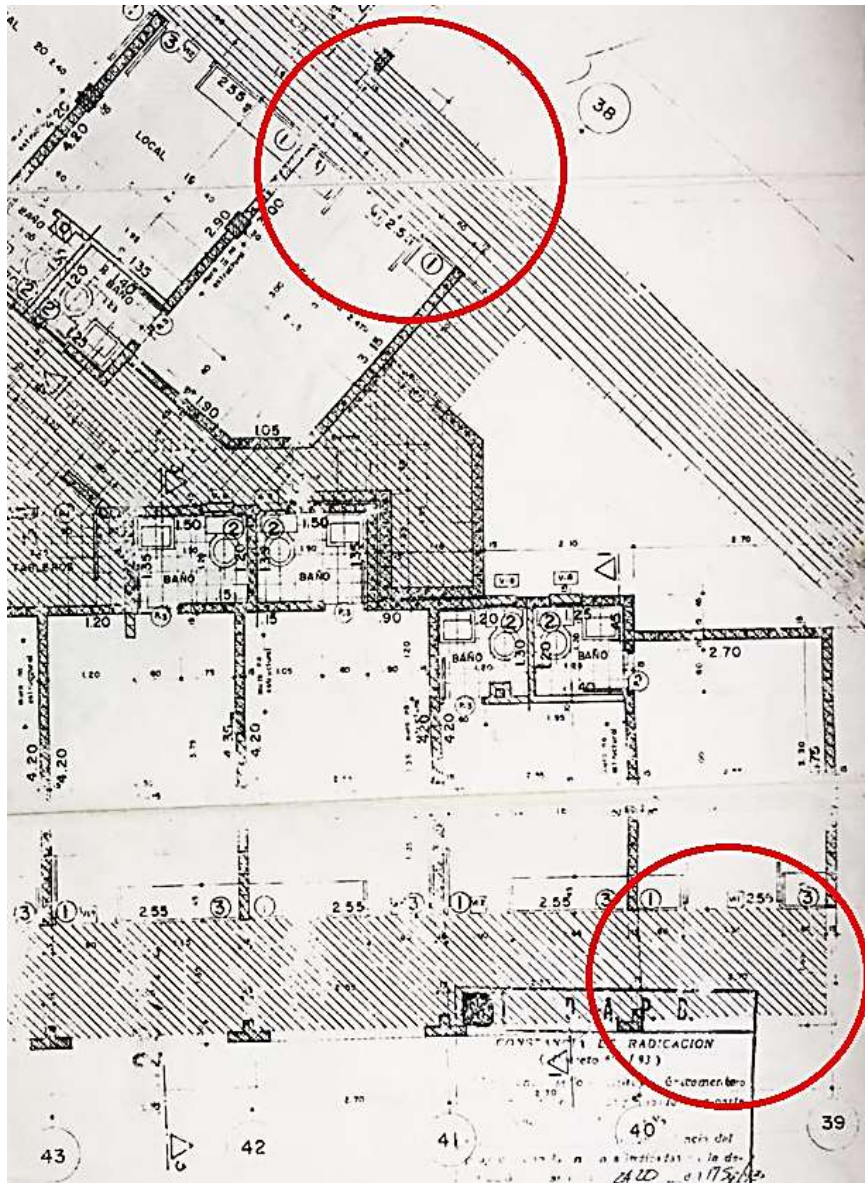


Figura 124. Posición cubiertas costado occidental (archivo administración edificio)

Solución propuesta

Teniendo en cuenta que hace 5 años aproximadamente se realizó una intervención por parte de la copropiedad y hoy en día nuevamente se refleja una inclinación en las cubiertas auxiliares, se propuso la instalación de una nueva columneta metálica telescópica, a diferencia de la que actualmente está instalada, esta nueva propuesta permitirá que la cubierta descienda manualmente

asegurándola por medio de tornillos en una serie de perforaciones previamente realizadas.

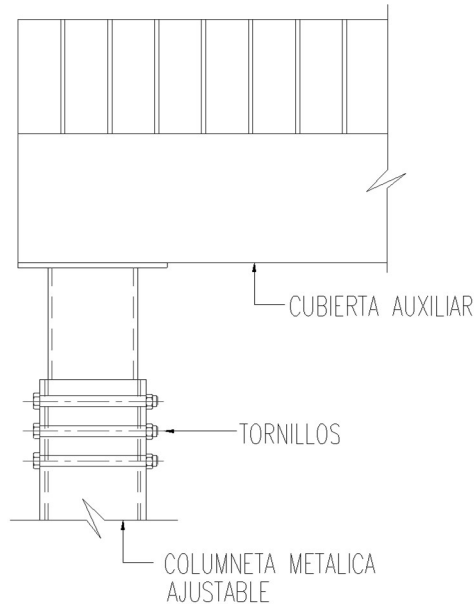


Figura 125. Detalle columna ajustable (archivo propio)

De esta forma cada vez que se vuelva a presentar el desnivel en las cubiertas auxiliares, la copropiedad podrá ajustar la columneta evitando hacer grandes inversiones en reparaciones periódicas.

Enseñanzas

- Cuando se construya un elemento adosado a una estructura existente que no se haya contemplado desde el principio, es necesario estudiar su comportamiento estructural a futuro previendo que conserve su funcionalidad y buen aspecto estético con el paso del tiempo.
- Es necesario construir vigas de amarre entre elementos de cimentación para reducir la magnitud de posibles asentamientos diferenciales, que puedan ocasionarse por la diferencia de carga que pueda estar transmitiendo una estructura a sus apoyos.

3.14. Caseta de acceso – Fisuración losa de cubierta

Descripción del proyecto

En una pequeña guarnición militar, una de las casetas de acceso fue remplazada por una nueva estructura constituida por muros de mampostería en concreto y una placa de cubierta en concreto reforzado, conformando un área aproximada de 16 m² en primer piso y una altura de 3.50 m.

Dicha placa de cubierta tenía un espesor de 0.125 m y contaba con voladizos en la parte posterior y lateral de 0.45 m y un voladizo en su fachada principal de 1.45 m. Durante el diseño no se había planteado el acceso a la cubierta por lo tanto el diseño estructural solo contempló una carga muerta de cubierta debida a peso propio con sus acabados y una carga viva correspondiente a una cubierta plana, en este caso 1.80 kN/m².

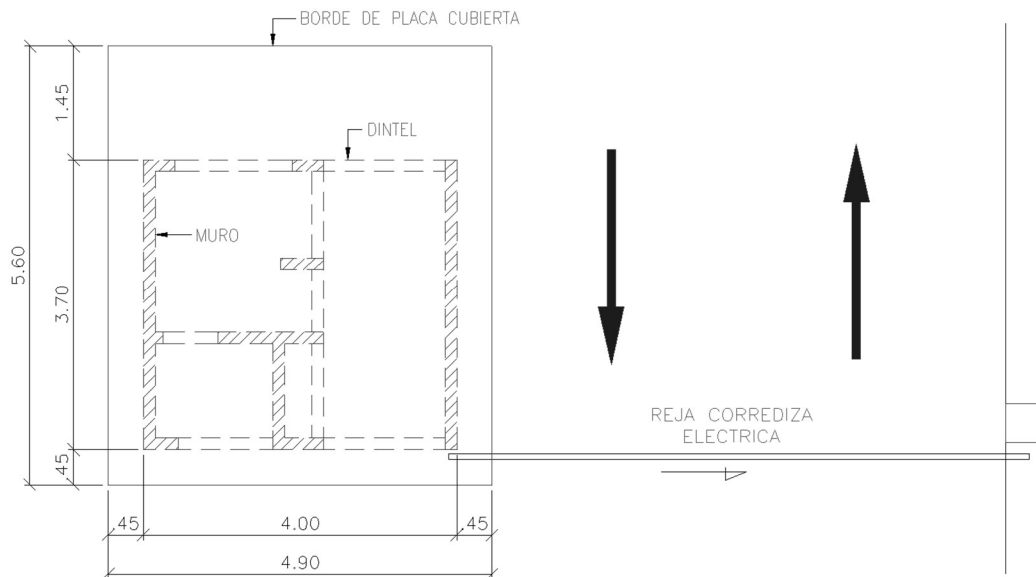


Figura 126. Vista en planta cubierta caseta (archivo propio)

Fallas o defectos

Por tratarse de una estructura nueva con no más de ocho meses de construcción, el personal encargado de mantenimiento de las estructuras, solicitó un concepto técnico respecto a una deformación que empezaba a ser notoria en el voladizo de la fachada principal.

Al realizar la visita para atender la solicitud, se evidencio una deformación de 2.0 cm aproximadamente y se observó una fisura de aproximadamente 2 mm de abertura (ver figura 127) en el voladizo de la placa de cubierta costado de la fachada principal, al parecer se estaba presentado una falla por flexión en la cara superior del voladizo.

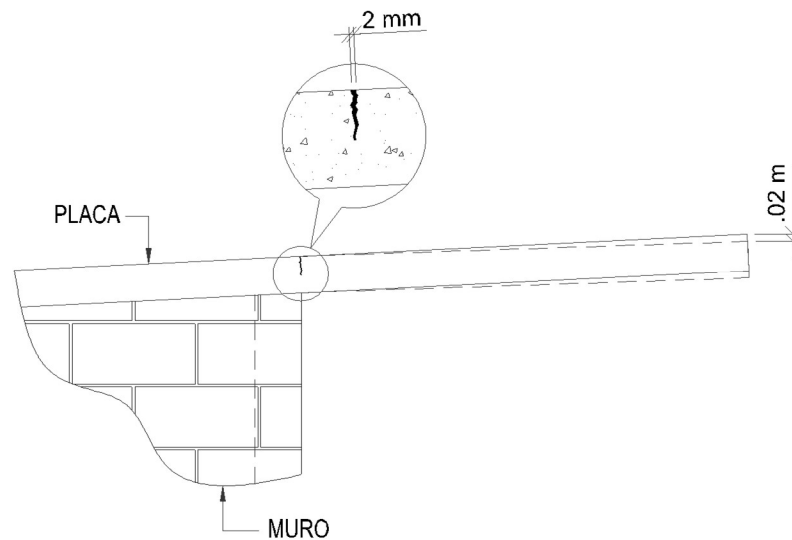


Figura 127. Detalle fisura y deformación voladizo placa de cubierta (archivo propio)

Adicionalmente, se encontró una escalera de gato que brindaba acceso a la cubierta de la caseta, la cual no estaba planteada en el diseño arquitectónico y una serie de sacos de arena dispuestos sobre la cubierta, generando una barrera en el perímetro de la misma, ver figura 128.

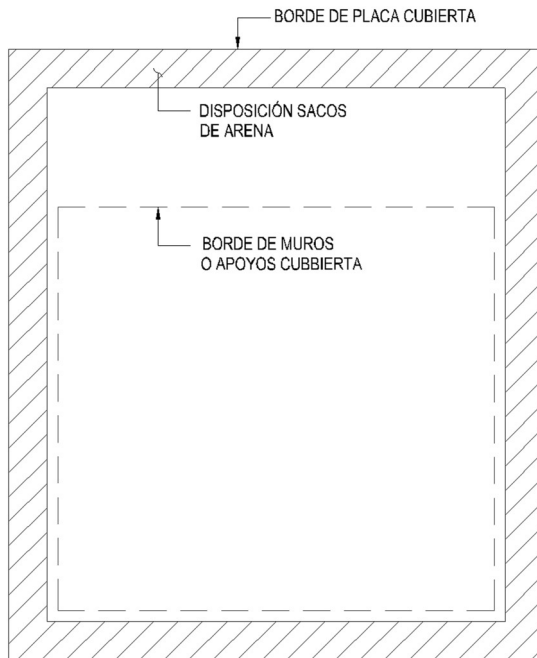


Figura 128. Disposición sacos de arena (archivo propio)

Causa probable

Dentro de la información recopilada, se tuvo acceso al plano de diseño de la caseta, en este plano se contemplaba una carga muerta representada por el peso propio de la placa con un espesor de 0.125 m (3.00 kN/m^2) y un afinado representado por un espesor de 0.03 m (0.66 kN/m^2), adicional de acuerdo con lo indicado en el plano se contempló una carga viva de 1.80 kN/m^2 , por otro lado se encontró que el refuerzo de la placa estaba compuesto por una malla electrosoldada de gráfil, con diámetro de 8.0 mm espaciada 15 cm en las dos direcciones, (ver figura 129), resistencia a fluencia del acero de $F_y = 485 \text{ MPa}$ y una resistencia del concreto de 21 MPa.

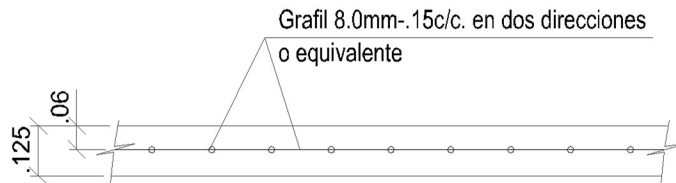


Figura 129. Detalle acero de refuerzo placa (archivo propio)

Sin embargo, en sitio se encontró sobre el perímetro de la placa una serie de lonas de arena una sobre otra, con peso aproximado de 25 kg cada una organizados en 12 filas, conformando una altura cercana a los 0.85 m (6.0 kN/m en el borde del voladizo), según lo informado por el personal de guardia, estos sacos cumplían la función de brindar cierta protección al personal de servicio, en el evento de que fuese necesario acceder a la cubierta para tener un mejor punto de observación, dicha carga no estaba considerada en el diseño original.

De acuerdo con lo encontrado, se procedió a realizar la revisión estructural del voladizo de cubierta en cuanto a la resistencia a cortante y flexión teniendo en cuenta la información recopilada, como el espesor de placa existente, cuantía de acero de refuerzo y la resistencia de materiales indicados en el plano de diseño, ya que el cliente no autorizó la toma de muestras para evaluar la resistencia del acero de refuerzo y del concreto debido a su costo adicional, este indicó que se debía trabajar con la información indicada en el plano de diseño pues de acuerdo con la supervisión de la obra, los materiales cumplían con lo indicado en los planos.

- Espesor de placa según la tabla C.9.5(a) NSR-10:

$$L_{\text{voladizo}} / 10 = 1.45 \text{ m} / 10 = 0.15 \text{ m}$$

El espesor de placa diseñado y construido es de 0.125 m, un valor menor al calculado según la tabla C.9.5(a) NSR-10, sin embargo al revisar las deflexiones debidas a cargas iniciales, se tenía una deformación teórica de 0.34 mm debida a carga viva la cual era inferior a la deformación máxima admisible dada por la relación $L/180 = 8 \text{ mm}$, por lo tanto el espesor de placa era aceptable.

Posteriormente y sin incluir la carga viva de diseño, se realizó la evaluación de la carga muerta existente debida al peso de la placa, su acabado y el peso de las lonas de arena en el extremo del voladizo, sin aplicar un factor de mayoración de carga, se obtuvo un cortante actuante de 11.31 kN siendo inferior a la resistencia al corte del concreto y un momento actuante de 11.53 kN-m que al compararlo con el momento resistente da una relación de 1.09 veces trabajando con el límite de rotura (F_u) de la malla electrosoldada correspondiente a 550 MPa.

- Resistencia al corte $e = 0.125 \text{ m}$

$$\begin{aligned} b &= 1.0 \text{ m} \\ d &= 65 \text{ mm} \\ f'_c &= 21 \text{ MPa} \\ V_c &= 48.69 \text{ kN} \\ V &= 11.31 \text{ kN} < V_c \end{aligned}$$

- Resistencia a flexión $e = 0.125 \text{ m}$ y Malla electrosoldada $\phi 8.0 \text{ c}/0.15 \text{ m}$

$$\begin{aligned} b &= 1.0 \text{ m} \\ d &= 62.5 \text{ mm} \\ f'_c &= 21 \text{ MPa} \\ M_n &= 10.57 \text{ kN-m} \\ M &= 11.53 \text{ kN-m} > M_n \end{aligned}$$

Por lo anterior y teniendo en cuenta que no fue posible verificar la resistencia de los materiales, se concluyó que la causa más probable de la fisuración en la cara superior del voladizo de la placa de cubierta, se debió a la carga adicional y su posición representada por los sacos de arena en el extremo del voladizo, la cual no estaba contemplada en el diseño original, cuyo momento a flexión, superaba la resistencia admisible del elemento existente.

Solución propuesta

De acuerdo a lo concluido, donde la causa más probable de la falla presenta se debió a la posición de los sacos de arena, de primera mano se solicitó trasladar las lonas del borde del voladizo a donde se localiza el muro de fachada, justo donde arranca el voladizo, reduciendo el esfuerzo a flexión debido a dicha carga.

Adicionalmente, se solicitó contratar una empresa que evaluara y ejecutara la mejor técnica para el sellado de la fisura, adicionalmente se recomendó que la empresa contratada para tal fin contara con una certificación en la aplicación de dichos productos de tal forma que no se incurriera en gastos adicionales por baja calidad de los trabajos.

Enseñanzas

- No es conveniente dar a las estructuras un uso diferente al definido en el diseño estructural, en caso de requerir el área para un uso específico diferente al contemplado en el diseño, es necesario dar aviso al diseñador con el fin de que realice las verificaciones pertinentes y brinde la mejor recomendación sobre el caso.
- Al habilitar un acceso a la cubierta de la caseta, dio la oportunidad para incluir cargas adicionales a las existentes, lo cual no es conveniente ya que se modifican las condiciones iniciales planteadas en el diseño estructural.

3.15. Muelle flotante – Deflexión excesiva pasarela de acceso

Descripción del proyecto

Sobre el río Putumayo, se realizó la construcción de un pequeño muelle flotante para parqueo de botes, el cual fue diseñado y fabricado en estructura metálica.

La estructura del muelle tiene una longitud total de 10.6 m y un ancho de 7.0 m, está conformada por un marco plano en perfiles tipo canal y tipo ángulo, soportado por una serie de flotadores en estructura metálica los cuales servirán de sustento, como soporte lateral el muelle cuenta con cuatro pilotes hincados en el lecho del río, adicionalmente esta estructura cuenta con una pasarela de acceso abatible con un ancho de 1.2 m y una longitud de 12.0 m anclada a la orilla, ya que se contempló que el nivel del río varía en las diferentes épocas del año.

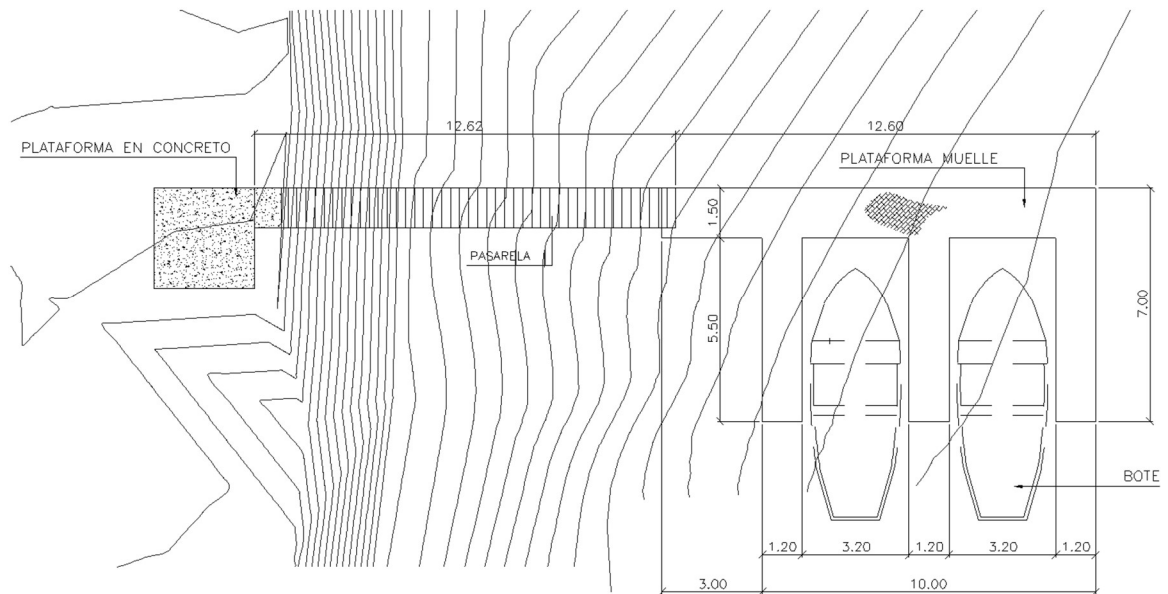


Figura 130. Vista en planta muelle (archivo propio)

Para facilitar el traslado de piezas, el cliente limitó la longitud de las mismas a 6.0 m máximo teniendo en cuenta que la estructura sería transportada por vías terciarias y en embarcaciones a través del río Putumayo, por lo tanto el muelle se dividió en módulos y la pasarela en dos tramos (ver figura 131), todos los conjuntos se ensamblarían por medio de pernos en sitio para acortar los tiempos de montaje,

por tal motivo todas las piezas tendrían un pre ensamblado en taller y así detectar cualquier falla antes de embalar la estructura.

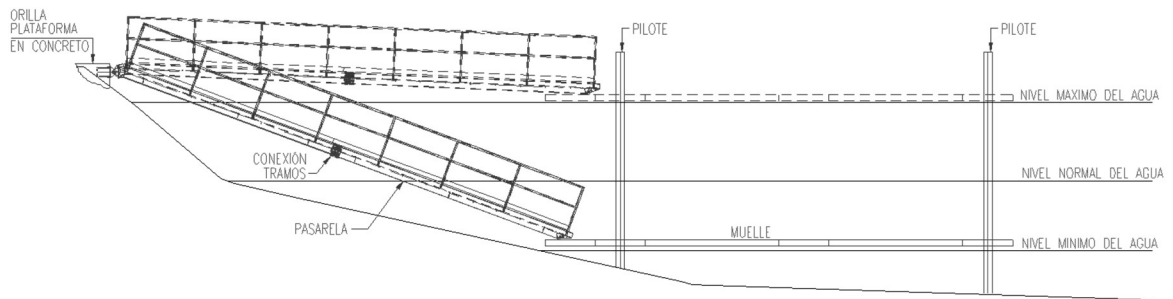


Figura 131. Alzado muelle y pasarela de acceso (archivo propio)

Fallas o defectos

La estructura del muelle fue ensamblada sobre el río y asegurada a los pilotes de acuerdo con los planos de montaje sin problema alguno, posteriormente el constructor procedió a armar la pasarela de acceso, en donde tuvo que conectar los dos tramos de la misma por medio de platinas y pernos y anclar uno de los extremos a la plataforma de concreto construida en la orilla del río.

De esta última actividad, se desconocía el procedimiento utilizado, no se sabía si se había ensamblado en tierra y luego desplazada sobre el río o si se había ensamblado sobre el río anclando primero uno de los tramos a la orilla y luego conectando el siguiente conjunto, siendo más complejo el ensamble de la conexión en un procedimiento que en el otro.

Sin embargo, después de finalizar la instalación de la pasarela el constructor observó una deflexión pronunciada en el punto de la conexión debida al peso propio del elemento pues aún no estaba en uso, dando a entender inseguridad para el cliente final respecto a la estabilidad de la estructura, ver figura 132.

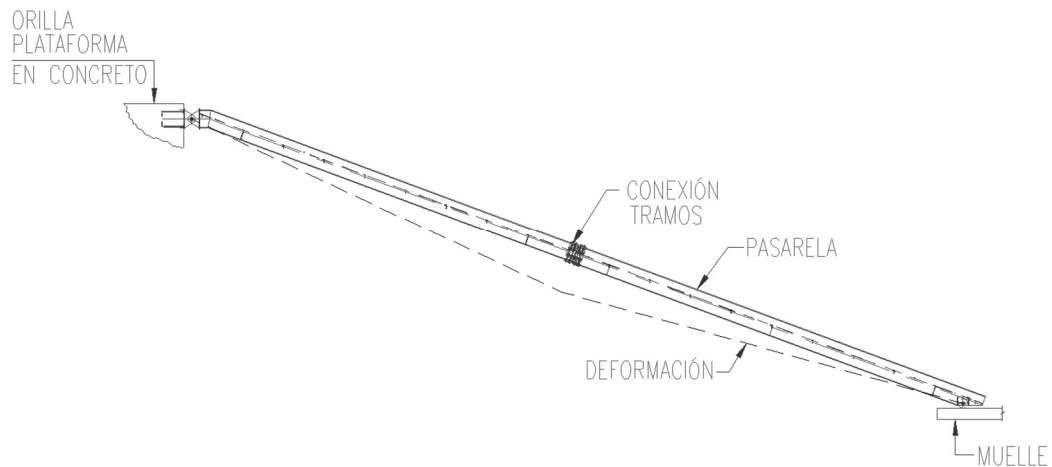


Figura 132. Esquema de alzado deformación pasarela (archivo propio)

Causa probable

Debido a la localización de la obra, no fue posible acceder a la misma de forma inmediata, por tal motivo no existió una versión por parte del contratista del montaje respecto a lo sucedido, en este caso para el constructor y encargado de la obra, la falla era un asunto que debía resolver de forma inmediata por el diseñador de la estructura pues debía cumplir con el estricto cronograma de montaje.

Teniendo en cuenta que la estructura había sido pre ensamblada en taller donde no se evidencio la falla descrita, para el diseñador la causa más probable se debía al apriete deficiente de los elementos de la conexión. Para él, no haber armado los tramos en tierra antes de izarlos en la posición de anclaje y por el contrario intentar armar los tramos sobre el rio, representaba una condición que no garantizaba una instalación y un apriete adecuado de las piezas que constituían la conexión, generando que ésta no se comportara como un elemento rígido, pues las holguras normales de las perforaciones y las existentes entre elementos principales, al estar sueltas podían hacer que las piezas se desplazaran ligeramente generando esa deformación pronunciada en el punto de la unión entre los dos tramos al no estar instalados correctamente los pernos.

Otra posible causa es en que la cara interior del patín del perfil no es paralela a la cara exterior (ver figura 133), esto hubiera podido generar que al no existir un

elemento adicional como es el caso de una arandela de relleno con dicha forma, podría ocasionar que la tuerca no tuviera una superficie para generar el apriete necesario de las piezas, originando que la conexión no trabajara como un elemento rígido y por ende no hubiera continuidad en el elemento principal sometido a flexión.

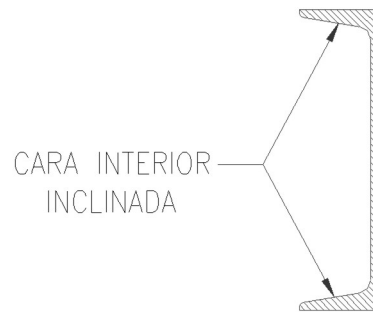


Figura 133. Cara interior del patín inclinada (archivo propio)

Solución propuesta

Con el fin de evitar más demoras en la entrega de la estructura y evitar intervenir drásticamente la misma, el diseñador junto con el constructor plantearon la opción de soldar los elementos (platinas) de la conexión a los perfiles, de esta forma la conexión ganaría rigidez y se comportaría como un elemento continuo, ver figura 134.

Adicionalmente se solicitó realizar las reparaciones a la pintura, la cual se afectaría con el efecto térmico de la soldadura sobre las piezas, esta reparación sería importante teniendo en cuenta que la estructura tenía un sistema de protección epóxico, pues los perfiles estarían expuestos a un ambiente húmedo teniendo en cuenta que la obra se localizaba en un entorno selvático.

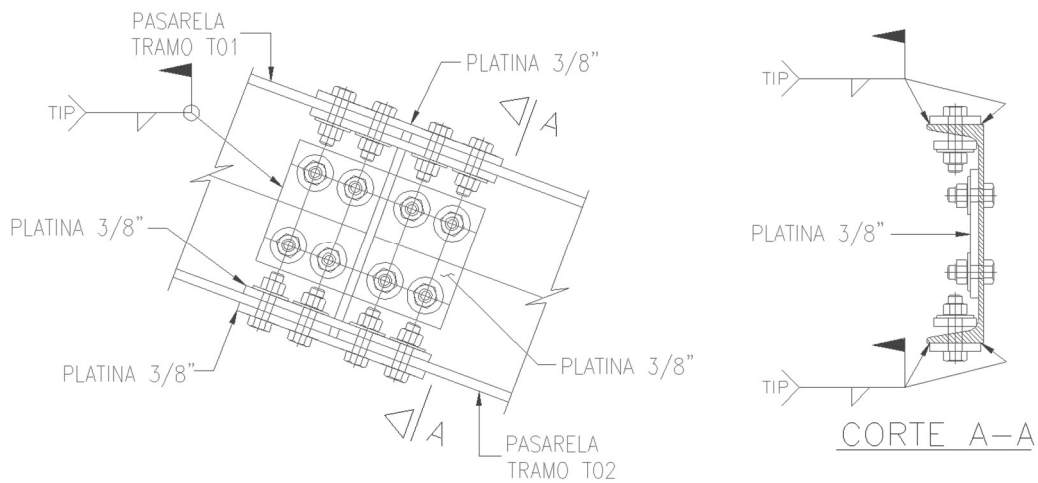


Figura 134. Esquema de soldaduras propuesto (archivo propio)

Después de realizar la intervención donde se soldaron los elementos de la conexión, se corrigió la falla de la estructura y se procedió a realizar la entrega de la misma al cliente final sin contratiempos adicionales.

Enseñanzas

- En este caso en particular, resultó más importante presentar una solución a la falla presentada que invertir tiempo en encontrar la causa probable, fue suficiente brindar una alternativa para que la estructura fuera segura y recuperara su funcionalidad en un corto tiempo.
- Es probable que la falta de una pieza tan simple como una arandela de relleno hubiera podido originar que la conexión no se comportara adecuadamente.

3.16. Puente grúa 5 t – Descarrilamiento constante

Descripción del proyecto

En una planta de producción y ensamble de equipos destinados para el sector eléctrico, se instaló un puente grúa con una capacidad de 5 t con el fin de facilitar el ingreso de materia prima y salida del producto terminado.



Figura 135. Vista general del puente grúa (archivo propio)

El puente grúa fabricado en estructura metálica, está constituido por una viga puente en perfil cajón tipo alma llena armado, con una separación entre apoyos de 18.11 m, dos vigas testeras en perfil HEA tipo alma llena y una serie de vigas carrileras que abarcan una luz de 44.55 por donde se desplazará el puente grúa (ver figura 136), estas últimas, se apoyan en las columnas de soporte de concreto reforzado que hacen parte del edificio.

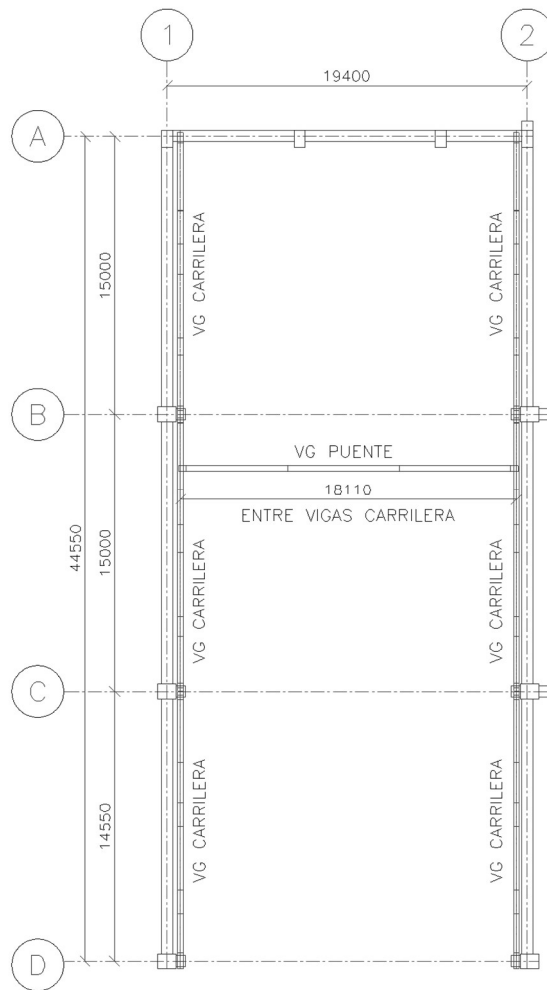


Figura 136. Planta general del puente grúa (archivo propio)

Fallas o defectos

Estando en servicio el equipo, se detectó que al izar una carga y desplazarla hacia uno de los extremos de la viga puente e iniciar el desplazamiento sobre las vigas carrileras, se presenta cierto grado de frenado en uno de los extremos, que al seguir operando, generaba en algunos casos un leve descarrilamiento de una de las ruedas.

Causa probable

Para la investigación de esta falla, se programó la visita del técnico encargado de la instalación eléctrica y equipos. En ésta se revisó el cableado, la operación de los

motorreductores y la alimentación eléctrica de los equipos, después de la visita se concluye que eléctricamente todo opera con normalidad.

Posteriormente se realizó la visita por parte del inspector de calidad de la estructura, quien inició con la inspección visual evaluando las condiciones de la palanquilla (guía metálica donde transitan las ruedas) instalada sobre las vigas carrileras verificando que no tuviera rastros de algún elemento o soldadura que pueda estar interrumpiendo el normal desplazamiento, seguidamente, se revisó la linealidad de las vigas carrileras teniendo en cuenta que no estuvieran pandeadas ni presentaran deformaciones que impidieran el funcionamiento adecuado del equipo lo cual, no se evidencio.

Sin embargo se realizó una prueba de operación en sitio, evidenciando que al llevar la carga a un extremo de la viga puente, el extremo donde no se concentra la carga empezó a rezagarse originando un desplazamiento diferencial entre los extremos del puente grúa, ver figuras 137 y 138 las cuales muestra el evento, se repitió la prueba con la carga centrada en la viga puente y no se registró el evento.

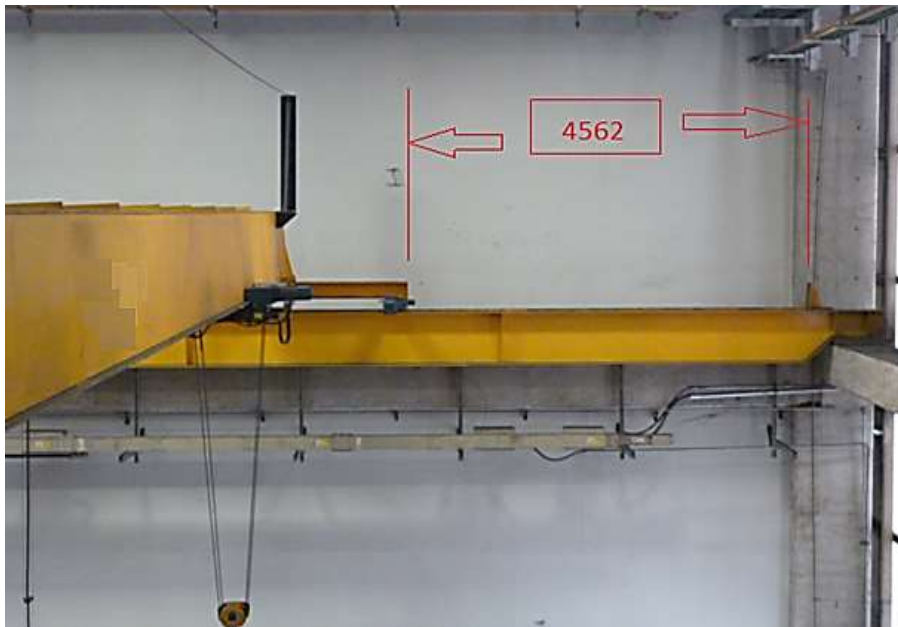


Figura 137. Registro dimensional costado izquierdo - posición de la carga (archivo propio)

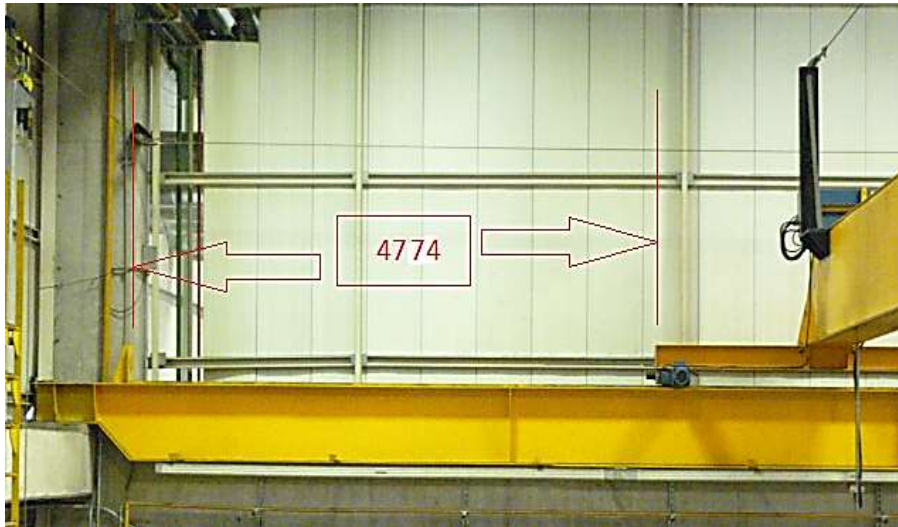


Figura 138. Registro dimensional costado derecho (archivo propio)

Debido a lo anterior, se procedió a realizar la inspección dimensional de algunos elementos de acuerdo con los parámetros indicados en la norma CMAA (Crane Manufacturers Association) Specification #70, encontrando que la separación de ruedas de las vigas testeras era 1.50 m, distancia inferior a lo especificado por la CMAA según la cual, la distancia debería haber sido mínimo $1/7$ de la luz de la viga puente, que en este caso sería a $18.11 \text{ m} / 7 = 2.58 \text{ m}$, por lo tanto se concluyó que la causa más probable era que la separación de ejes de ruedas que sirven de apoyo, lo cual originaría que a menor distancia entre ruedas, posiblemente aumentaría la fuerza de fricción entre la cara lateral de las mismas y las guías, originando probablemente un frenado en el extremo del puente con menor carga.

Solución propuesta

Teniendo en cuenta que la única observación a la estructura del puente grúa correspondía a la separación de ejes de las ruedas, se procedió a solicitar la modificación de dicha distancia, en este caso el constructor procedió a diseñar y fabricar unas nuevas vigas testeras con una separación de 2.80 m entre ejes de ruedas.

Una vez preparados los nuevos testers, se procedió a su instalación, posteriormente se realizaron las respectivas pruebas dando como resultado un desplazamiento libre sobre las vigas carrileras eliminando la no conformidad del cliente.

Enseñanzas

- Tener en cuenta la normatividad vigente difundida por las asociaciones y gobiernos para la fabricación y construcción de estructuras, pues ellos invierten una serie de recursos en ensayos e investigación que permiten un mejor desempeño de las mismas.
- Antes de entregar una estructura de este tipo al cliente, en etapa de pruebas se debe realizar la movilización de carga en diferentes posiciones sobre la viga puente, de esta forma se pueden advertir este tipo de fallas antes de su puesta en servicio y evitar el riesgo para trabajadores y otros equipos.

3.17. Plataforma puente peatonal acceso tanques de combustible – Deformación de elementos y corrosión estructura

Descripción del proyecto

La plataforma del puente peatonal hace parte de las estructuras de acceso a los tanques de almacenamiento de una planta de procesamiento y almacenamiento de combustible. El puente tiene un ancho libre de 1.20 m, cuenta con pórticos de apoyo con separaciones entre 6.40 m y 9.40 m y cubre una luz total de 63 m aproximadamente, ver figura 139.

La plataforma cuenta con una lámina perforada para tránsito apoyada sobre ángulos longitudinales y transversales que se soportan perfiles tubulares redondos que brindan soporte al puente y transmiten las cargas a los pórticos Ver figura 140.

La plataforma del puente presenta daños en su pintura y algunos de los elementos presentan deformación, por tal motivo, el área encargada de mantenimiento solicita una visita con el fin de realizar una inspección a dicha plataforma y proponer una alternativa de rehabilitación y reforzamiento.



Figura 139. Puente peatonal acceso tanques (archivo contratista)



Figura 140. Configuración plataforma puente peatonal (archivo contratista)

Fallas o defectos

Durante la visita de inspección se evidenciaron los siguientes aspectos:

- Corrosión de algunos elementos sin pintar de la plataforma del puente, tanto de la baranda como de elementos de soporte y señales de óxido en elementos pintados, al parecer la baranda se armó en dos etapas, la primera de ellas parales y pasamanos superior (color amarillo) y en una segunda etapa se instaló un elemento horizontal y un vertical intermedio entre tramos de plataforma, esta segunda etapa al parecer no contempló pintura o sistema de protección a la corrosión y por el contrario al soldarlos a los elementos existentes, estos se afectaron por el calor de dicho proceso, ver figura 141.



Figura 141. Daños por procesos de soldadura en elementos existentes (archivo contratista)

- Deformaciones en elementos horizontales longitudinales tanto en baranda como en la plataforma de soporte.
- Al parecer el elemento tubular principal fue armado a partir de perfiles usados en las tareas de exploración que reposan en dicha planta. Ver figura 142.



Figura 142. Registro dimensional costado derecho (archivo contratista)

- No se evidenció registro de memoria de cálculo de diseño de la plataforma del puente ni planos estructurales.

Causa probable

De acuerdo con lo observado en sitio existen dos fallas generales de la plataforma del puente peatonal, deflexiones en elementos horizontales y corrosión general de los elementos.

En el primer caso, las deflexiones más notorias hacen referencia a los elementos horizontales intermedio de las barandas y al perfil tubular principal que sirve de soporte de la plataforma.

En el caso de la deformación de los elementos de las barandas, la causa más probable es debido a que el perfil utilizado no tenía la suficiente inercia para permanecer horizontal al estar sometido a su peso propio en las luces largas (6.40 m a 9.40 m), posteriormente se incluyó un elemento vertical intermedio adicional cuando ya estaba deformado el horizontal pero no se corrigió la linealidad de dicho elemento, ver figura 143.



Figura 143. Falla en elementos de barandas (archivo contratista)

En el caso del perfil tubular de soporte principal de la plataforma, la configuración de los elementos de soporte no es la más adecuada, pues no existe una configuración tipo cercha que permita manejar la longitud entre apoyos dispuesta en sitio, adicionalmente al tener en cuenta la forma de empalme entre tramos (cambio de diámetro en extremo de cada perfil, ver figura 144) y los perfiles usados apilados en un sector de la planta, se concluyó que corresponde a un perfil usado que fue instalado probablemente sin un análisis o calculo, que permitiera verificar la sección, debido a esto y a pesar de que el perfil pudiera soportar el peso propio de

la plataforma, el uso (carga viva) a través del tiempo origina que se fuera deformando de forma permanente.



Figura 144. Detalle empalme perfil principal plataforma (archivo contratista)

Respecto a la corrosión de elementos, existen dos causas probables, la primera de ellas correspondiente a los elementos pintados, la pintura utilizada correspondía al tipo alquídico el cual, es un sistema básico de protección ante la corrosión para ambientes neutros, dicho sistema no es el adecuado para el ambiente agresivo como es el caso de una planta procesadora de derivados del petróleo y en muy poco tiempo se degrada, la segunda causa probable correspondiente a los elementos con más óxido en su superficie, es la no utilización de pintura o algún sistema inhibidor de la corrosión, ya que en algunos no se encontró rastros de pintura u otro material, incluso cuando se soldaron elementos nuevos a existentes, no se realizó la debida reparación a la pintura quedando la superficie del acero expuesta.

Solución propuesta

Teniendo en cuenta que no se evidenció una memoria de cálculo o plano estructural que permita establecer claramente los perfiles estructurales instalados y debido a que el perfil tubular principal corresponde a un perfil usado en exploraciones, no es posible confirmar de manera confiable su espesor, debido a que el grosor de pared puede disminuir cuando se utiliza en dichos procesos, por lo tanto, se propuso diseñar una nueva plataforma para el puente peatonal con perfiles nuevos con una configuración tipo cercha, utilizando la luz más larga correspondiente a 9.40 m para el modelo estructural y así replicar los perfiles para

las otras luces más cortas con el fin de tener uniformidad estética en las secciones a lo largo de todo el puente.

Para el problema de corrosión detectado, se propuso para la nueva estructura un sistema epóxico de protección para ambientes agresivos, constituido por un esquema de pintura de dos fases:

1. Imprimante epóxico a base de fosfato de Zinc (espesor película seca de 4 mils)
2. Esmalte de acabado epóxico (espesor película seca de 3 mils)

Adicionalmente se indicó una limpieza previa de los perfiles metálicos con chorro de arena según norma SSPC- SP6 con el fin de garantizar el perfil de anclaje para este tipo de pintura.

Enseñanzas

- No es conveniente usar perfiles usados de otras estructuras o trabajos previos en la fabricación de estructuras metálicas, pues se desconoce su estado mecánico real y no siempre es fácil establecer sus dimensiones, a menos que se realice una revisión minuciosa del estado del perfil y se realicen los ensayos de calidad requeridos para el uso que tendrán.
- Se debe consultar el tipo de ambiente al que estarán expuestas las estructuras metálicas, con el fin de diseñar un esquema de pintura o sistema de protección que garantice la integridad de los elementos metálicos durante la vida útil de la estructura, dicho esquema de pintura se debe incluir en los planos de diseño o construcción.
- Después de aplicar soldadura sobre una superficie pintada, es necesario realizar la respectiva reparación del sistema de protección de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, en lo posible se debe dejar la superficie limpia sin pintar para aplicar la soldadura, pues la pintura puede contaminar la soldadura aplicada y traer resultados desfavorables a la misma.

3.18. Caseta estación – Retraso puesta en servicio de estructura por refuerzo incompleto de cubierta

Descripción del proyecto

El proyecto corresponde a una caseta de un piso para albergar una serie de válvulas, consta de una losa de cubierta maciza de 0.15 m de espesor, fundida monolíticamente y está simplemente apoyada sobre muros divisorios y de fachada.

Dicha cubierta no soporta la carga de equipos, sin embargo se diseñó para una carga viva de cubierta de 2.00 kN/m^2 y su peso propio.

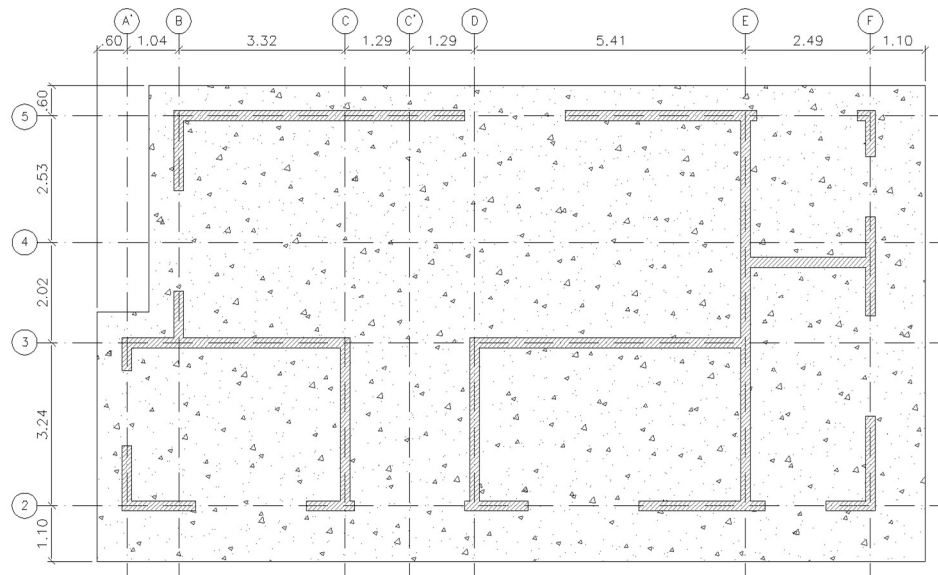


Figura 145. Vista en planta placa de cubierta (archivo propio)

Fallas o defectos

En el momento de la revisión, la interventoría, que iniciaba contrato cuando el edificio estaba construido, no dio vía libre para la puesta en servicio de la caseta, debido a una preocupación respecto al armado del acero de refuerzo adicional a la malla electrosoldada, dispuesto en la placa de cubierta reflejado en los planos as-built, pues este tenía una distribución atípica en dicha placa, ver figura 146 y 147.

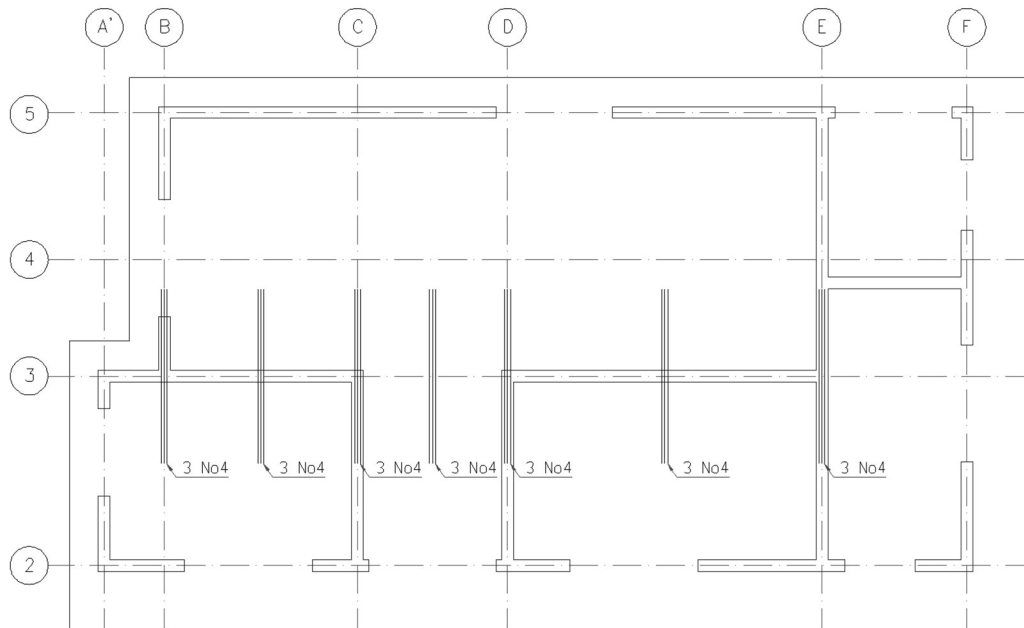


Figura 146. Distribución de refuerzo superior adicional a la malla electrosoldada, plano as-bulit (archivo propio)

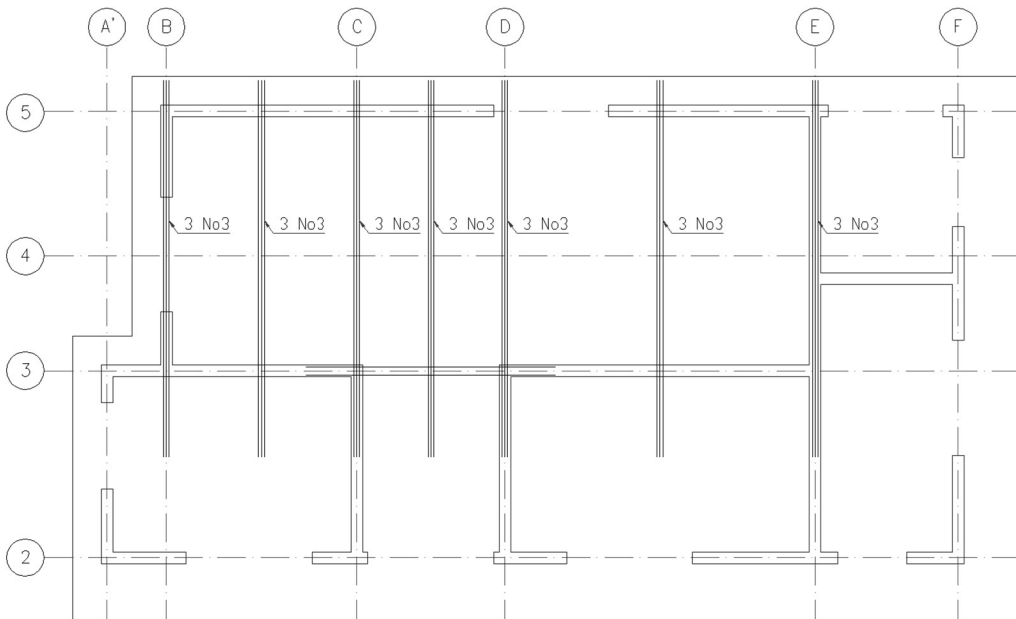


Figura 147. Distribución de refuerzo inferior adicional a la malla electrosoldada, plano as-bulit (archivo propio)

Como se puede observar en la figuras 146 y 147, el refuerzo adicional a la malla electrosoldada constituido por varillas No. 3 y No.4 no se instaló de manera uniforme, por el contrario se concentraron en puntos con separación mayores a 1.50 m, dicho armado no coincidía con el detalle del acero de refuerzo del plano de diseño el cual, consideraba un número de varillas de refuerzo adicional distribuido en franjas de 1.0 m, para el caso del refuerzo superior, se dispondrían de 3 varillas No.4 cada metro (se debía instalar 1 varilla cada 0.33 m aprox.) a lo largo de toda la placa, así como el refuerzo inferior que consideraba 3 varillas N.3 (se debía instalar 1 varilla cada 0.33 m aprox.) adicionales por cada metro de longitud. Ver figura 148.

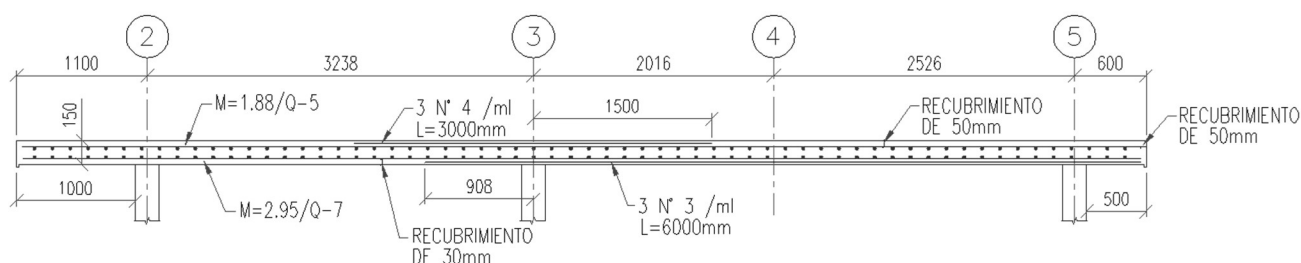


Figura 148. Detalle distribución de refuerzo extraído de plano de diseño (archivo propio)

Con lo anterior, el armado del acero de refuerzo de la placa, reflejaba que ésta no tendría la misma resistencia de esfuerzo de flexión a lo largo de la misma y era probable que se tuvieran inconvenientes cuando se pusiera en servicio, ya que al evaluar la resistencia de las franjas de placa que no tenían refuerzo adicional, la evaluación estructural indicaba que el acero de refuerzo superior no era suficiente para soportar los esfuerzos negativos a flexión.

Causa probable

En este caso en particular, definir la causa probable de esta falla, se dificultó ya que el personal encargado de construir la caseta era un subcontratista que para esa fecha ya no se encontraba en el proyecto.

Al indagar con los supervisores, se pudo saber que el personal encargado de su construcción, pudo interpretar los detalles del diseñador de forma errónea, pues

instaló las varillas de refuerzo No 3 y No 4 adicionales concentrándolas en ciertos puntos en vez de distribuirlas de manera uniforme a lo largo de la placa.

Por otro lado, otra causa probable es la ausencia de convenciones en el plano que expliquen la descripción del refuerzo en el despiece, en este caso el refuerzo adicional solo describía 3 No 4 / ml y 3 No 3 / ml, lo cual se prestaba para dos interpretaciones, la primera distribuir ese número de varillas en un metro de longitud y la segunda instalar ese paquete de varillas cada metro.

Solución propuesta

Debido a que después de realizar la evaluación estructural solo se encontró deficiencia en el acero superior de la placa, se propuso consultar con una empresa que distribuyera fibras de carbono con el fin de instalar una serie de elementos para suplementar la cuantía faltante, de esta forma la intervención al interior del edificio sería mínima, no correría el riesgo de afectar los equipos instalados a su interior con procedimientos invasivos y la puesta en servicio de la caseta sería en menor tiempo.

Enseñanzas

- Los detalles de los planos de construcción deben ser claros y concretos, para que no exista oportunidad a interpretaciones erróneas o que tengan información incompleta, que ocasione retrasos o defectos en las obras.
- A pesar que las obras las realice un subcontratista, se debe contar un supervisor calificado y con la experiencia necesaria para resolver cualquier duda en el desarrollo de la obra.

3.19. Bodega parque industrial – Asentamiento columnas fachada

Descripción del proyecto

En la ciudad de Bogotá, un parque industrial en el que empresas de mensajería, electrodomésticos, industria de perfilería metálica, entre otras desarrollan la actividad de producción de bienes y servicios y almacenaje.

Las estructuras de las bodegas están conformadas por un sistema de pórticos de concreto que soportan una serie de cerchas metálicas en sentido transversal, cuentan con una fachada en mampostería constituida por unidades de ladrillo tolete recocido y mezanines con entresijos constituidos por viguetas metálicas en celosía y lamina alfajor para tránsito del personal, en su cubierta se encuentra instalada una teja tipo canaleta 90 y cuentan con las respectivas canales y bajantes que conducen el agua lluvia a las respectivas cajas para su drenaje.

En principio el parque industrial contaba con un cerramiento sobre la zona verde hasta donde comenzaba el andén, sin embargo al parecer a través de una acción de la alcaldía local, el distrito recuperó el espacio público de dicha zona verde, con esto los árboles que existían pasaron a forma parte del inventario de la empresa de servicios públicos encargada del mantenimiento de zonas verdes de la localidad, dentro este inventario se incluyeron unos árboles de la especie Ficus (Caucho) que se encontraban muy cerca de la fachada principal de dicho parque industrial.

Adicionalmente, durante la construcción de la Avenida Mutis, el distrito sembró una serie de árboles sobre el andén a lo largo de este corredor, la especie sembrada hacía parte de la especie Fraxinus Chinensis comúnmente llamado Urapán, que aunque al sembrarlos eran pequeños, con el pasar del tiempo crecieron en cuanto a su follaje y altura.

Con el pasar del tiempo, los propietarios de las bodegas 17 y 18 (dos vanos) localizadas sobre el costado sur oriental de la copropiedad empezaron a notar daños en sus instalaciones en el costado de la fachada principal, por tal motivo dieron aviso a la administración del parque industrial para que adelantara los

estudios y actividades necesarios encaminados a detener el deterioro de la fachada y corregir lo daños que se venían presentando en la estructura.



Figura 149. Fachada intervenida (archivo propio)

Fallas o defectos

La administración del parque industrial contrató una empresa de ingeniería con el fin de realizar el estudio necesario para conocer las causas y realizar las respectivas reparaciones a los elementos que habían sufrido los daños por el asentamiento atípico de las columnas de los vanos de las bodegas 17 y 18. En el estudio que se llevó a cabo, se procedió a realizar una inspección visual detallada de los defectos presentados no solo de la estructura, sino también de la zona aledaña al proyecto en el costado de la fachada principal, de este estudio pudieron detectar fisuras y grietas en elementos de fachada, fisuras en uniones viga columna de elementos de resistencia sísmica, daños en uno de los carriles de la Avenida José Celestino Mutis así como hundimientos del urbanismo próximo al parque industrial. De la revisión se realizaron los siguientes hallazgos:

- Fisuras y grietas de los elementos de fachada. Se encontraron fisuras entre los 2.0 mm y los 25 mm, escalonadas sobre el mortero de pega y con rotura de los elementos de mampostería, de igual forma se detectaron desprendimientos de elementos de la fachada, ver figuras 150 a 154.



Figura 150. Deformación vertical diferencial de fachada (archivo parque industrial)



Figura 151. Fisuras y grietas en fachada (archivo parque industrial)



Figura 152. Fisuras y grietas cercanas a ventanas (archivo parque industrial)



Figura 153. Fisura en diagonal en la fachada (archivo parque industrial)

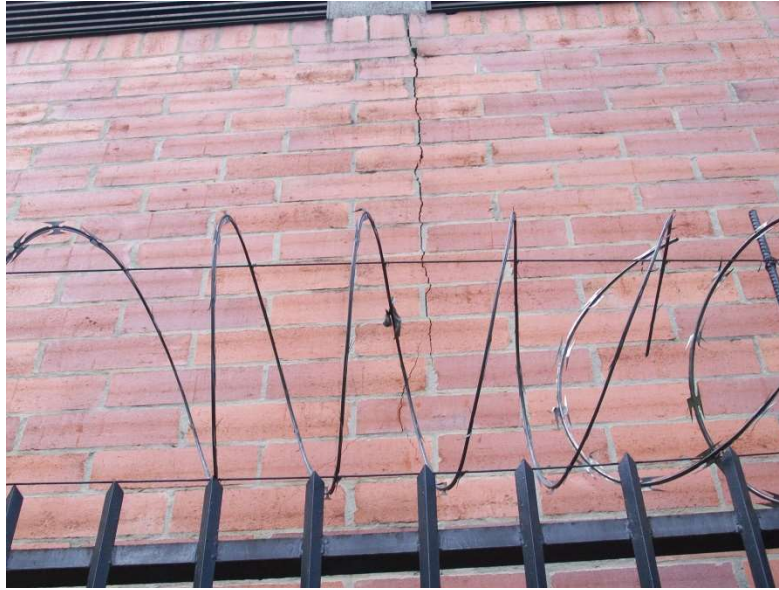


Figura 154. Fisura vertical sobre fachada (archivo parque industrial)

- Se evidenció distorsión de los elementos metálicos que conforman los marcos de ventanas instaladas sobre la fachada, ver figura 155.



Figura 155. Marco de ventana torcido (archivo parque industrial)

- Se encontraron fisuras en diagonal sobre la viga en la unión con la columna de concreto reforzado, de forma similar se pudieron detectar desprendimientos del recubrimiento superior de la viga cerca del apoyo de la columna, ver figura 156 y 157.



Figura 156. Fisura en diagonal unión viga columna (archivo parque industrial)



Figura 157. Desprendimiento de recubrimiento superior de viga (archivo parque industrial)

- Se registró un asentamiento diferencial de las columnas entre 3.0 cm y 6.5 cm respecto a las columnas adyacentes.
- Desplazamientos laterales de muros y columnas respecto a la placa de contrapiso, ver figura 158.



Figura 158. Abertura en junta entre placa de piso y muro (archivo parque industrial)

- Fisuras transversales en la cabeza de columnas en la unión con la viga, ver figura 159.



Figura 159. Fisuras transversales en cabeza de columna (archivo parque industrial)

- Se registraron fisuras de 2.0 mm sobre la placa de contrapiso, ver figura 160.



Figura 160. Fisura en placa de piso (archivo parque industrial)

- Hundimiento y grieta escalonada de la estructura del pavimento de la vía enfrente de la fachada principal con grietas y fisuras, ver figura 161 y 162.



Figura 161. Daños en vía adyacente (archivo parque industrial)



Figura 162. Grieta de la estructura del pavimento vía adyacente (archivo parque industrial)

- Hundimientos del urbanismo que constituye el andén localizado frente a la fachada deteriorada, ver figura 163.



Figura 163. Hundimientos del andén adyacente (archivo parque industrial)

- Se evidenció una serie de árboles sembrados a 2.00 m de la fachada existente, frente a uno de los vanos con defectos se evidenció un árbol considerablemente más grande que los demás, ver figura 164.



Figura 164. Árboles plantados cerca de la fachada (archivo parque industrial)

- Las fallas en la fachada llevaban aproximadamente más de un año sin ser intervenidas, además del tiempo relacionado con los trámites para inspección de los arboles adyacentes por parte de la Secretaria de Ambiente, por lo tanto la administración del parque industrial se vio obligada a instalar advertencias de riesgo de caída de elementos de fachada y cerrar el área con cintas de seguridad, ver figura 165.



Figura 165. Señalización de advertencia de riesgo caída del muro (archivo parque industrial)

Causa probable

Después de realizar la revisión de la fachada y de los elementos estructurales de la bodega, donde se evidenció una serie de árboles cercanos a la estructura y un hundimiento pronunciado del urbanismo y la vía adyacente, se concluyó que la causa probable del asentamiento diferencial de la columna estaba relacionado con el desecamiento del suelo correspondiente al estrato portante donde se dispuso la cimentación de la estructura.

Se consideró que en uno de los mayores picos de verano, en la época del mes de Diciembre del año 2015 que se suscitó en la ciudad de Bogotá, los árboles cercanos a la fachada (Cauchos) junto con el árbol localizado sobre el andén (Urapan) requerían más agua para sobrevivir, por lo cual las raíces de estos árboles empezaron a absorber la humedad de los estratos donde se apoyaba la cimentación de las bodegas y aquellos que conformaban la estructura de la vía, desecando dichos materiales y generando una consolidación debido a la carga ejercida sobre el suelo. Cabe anotar que en el costado de la vía que presentaba más hundimiento correspondía al espacio destinado a paradero del servicio de transporte SITP.

Lo anterior coincidía con los estudios adelantados por el jardín botánico en los que se concluyó que tanto los árboles de Caucho como Urapán generan afectaciones urbanas como por ejemplo daños a zonas duras por efecto de sus raíces así como daños en vías y andenes respectivamente.

Solución propuesta

Teniendo en cuenta la posible influencia de los árboles de gran tamaño cercanos al parque industrial, la empresa encargada del estudio junto con la administradora de la copropiedad realizaron los trámites respectivos ante la Secretaria de Ambiente para la tala de los mismos, manifestando con las fotografías el daño de la fachada de las bodegas por influencia de dichos árboles.

Atendiendo la solicitud, la Secretaria de Ambiente realizó una visita, para la inspección de los especímenes y adelantando los respectivos estudios relacionados con el estado y la salud de los árboles adyacentes, ver figura 166.



Figura 166. Revisión y monitoreo de los especímenes arbóreos (archivo parque industrial)

De dicho estudio el técnico de la secretaria constató que algunos de los árboles de Caucho cercanos a la fachada estaban “enfermos”, por tal motivo autorizó su tala, dando la instrucción a la respectiva entidad encargada de la labor, para el caso del árbol Urapán localizado sobre el andén, la secretaria de Ambiente determinó que

este individuo gozaba de buena salud por tal motivo no se autorizaba su tala, solamente se permitía la poda para reducir su follaje, ver figura 167.



Figura 167. Poda y tala de árboles (archivo parque industrial)

Una vez se talaron los árboles cercanos a la fachada, el contratista inició las tareas de desmonte de la fachada deteriorada, teniendo en cuenta la afectación de los elementos de concreto reforzado representado por vigas y columnas, ejecutó un reforzamiento de dichos elementos, en este caso retiró parte de los recubrimientos de los elementos de concreto, instalando una serie de flejes anclados con epóxico al núcleo de vigas y columnas para luego instalar un nuevo refuerzo longitudinal y así fundir la nueva sección de vigas y columnas, posteriormente realizó la construcción de la nueva fachada, dando como resultado una mejora en la apariencia y en la eliminación de riesgo de caída de la misma, ver figura 168.



**Figura 168. Actividades de reforzamiento de elementos de concreto reforzado
(archivo parque industrial)**

Enseñanzas

- No es conveniente realizar la siembra de árboles cerca de las estructuras, pues pueden afectar los inmuebles no solo por acción de sus raíces sino por el progresivo drenaje de la humedad de los estratos que sirven de soporte para la cimentación.
- Las entidades encargadas de reubicación y plantación de árboles deben ser conscientes del tipo de especie que se siembra, ya que unas especies requieren de más agua que otras para subsistir, así como otras tienen unas raíces más o menos profundas.
- Se debe tener en cuenta que el radio del follaje es directamente proporcional a la extensión de sus raíces de los árboles, por lo tanto es importante guardar las distancias de separación respecto a estructuras cercanas, para esto hoy en día el jardín botánico tiene una serie de estudios por especie arbórea que brindan este tipo de información, pues por ejemplo para el caso del Urapan, se ha establecido que la distancia mínima a construcciones es del orden de 10 m.

3.20. Estructura soporte equipo – Defectos en proceso de galvanizado

Descripción del proyecto

Una estación de bombeo de petróleo realizó la requisición para adquirir una estructura metálica de soporte para una serie de equipos eléctricos de control, los cuales hacían parte de una nueva línea eléctrica de 34.5 kV para la planta.

Dichos equipos estaban dispuestos dentro de una caseta constituida por perfiles metálicos y recubiertos en su fachada y cubierta por paneles metálicos livianos. Dicha caseta tenía un peso aproximado de 25.50 t y sería instalada por medio de una grúa sobre la estructura una vez estuviese construida.

La estructura de soporte estaba constituida por pórticos resistentes a momentos en una dirección, tendría una longitud de 20.25 m, un ancho de 4.70 m y una altura sobre el terreno de 2.40 m, todos los elementos se conectarían entre sí por medio de pernos para facilitar su instalación en sitio y tendría un sistema de recubrimiento tipo galvanizado en caliente por inmersión. La siguiente es la configuración de la estructura:

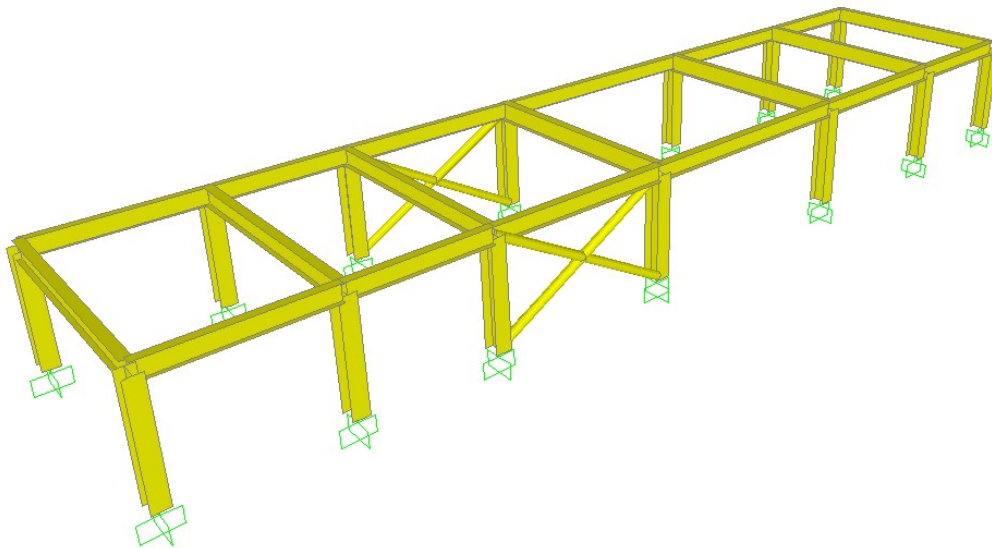


Figura 169. Isométrico estructura de soporte (archivo propio)

La empresa encargada del suministro realizó el diseño y fabricación de la estructura, sin embargo subcontrató con uno de sus proveedores el servicio de galvanizado de la misma, la cual después de ser inspeccionada, sería recogida por el cliente para su transporte a la obra.

Fallas o defectos

Una vez se finalizó el galvanizado en caliente de la estructura, se procedió a realizar la respectiva inspección por parte del personal de calidad, quienes hicieron una serie de observaciones respecto al acabado y apariencia del producto terminado. Algunos de los defectos en principio representaban una falla estética pero a mediano plazo podrían convertirse en una falla funcional, pues la estructura podría sufrir una corrosión prematura de los elementos. Los hallazgos fueron los siguientes:

- Peladuras y desprendimiento del recubrimiento y manchas de óxido sobre el recubrimiento.



Figura 170. Oxido y desprendimientos del acabado (archivo propio)

- Manchas negras en la superficie y zonas sin recubrimiento.



Figura 171. Manchas negras y ausencia de recubrimiento (archivo propio)

- Por otro lado, también se evidenció una falla de tipo funcional por daño en piezas por efecto del proceso de galvanizado:

Distorsión de elementos de las columnas, en este caso las láminas soldadas a los patines del perfil metálico se pandearon generando una distorsión de 35 mm para la columna A1 y de 25 mm para la columna B4:

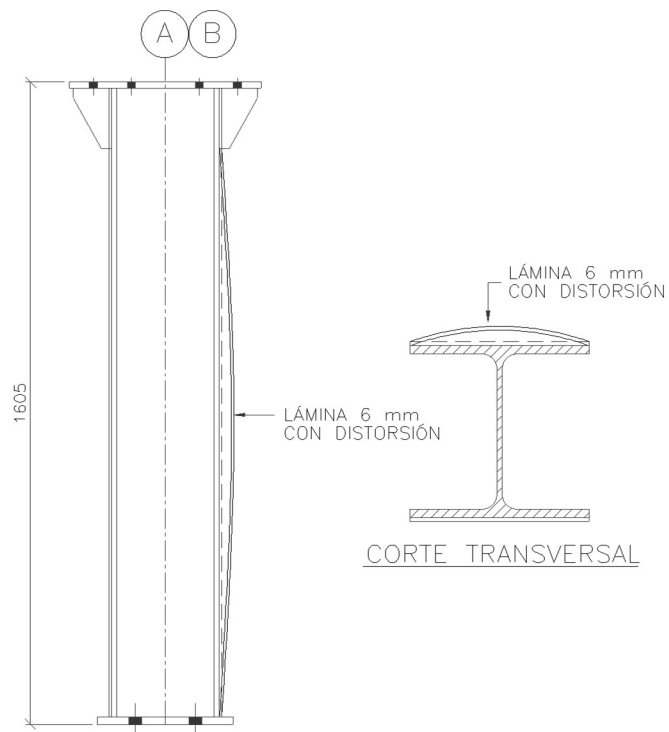


Figura 172. Distorsión en columnas metálicas (archivo propio)

- Adicionalmente, no fue posible realizar el proceso de galvanizado para 6 conjuntos (riostros en tubería) pues no tenían las respectivas perforaciones de drenaje para realizar el proceso.

Causa probable

Las causas probables de los defectos encontrados en el recubrimiento pueden deberse a fallas durante el proceso de galvanizado, posterior a este y en elaboración de planos de taller:

- Manchas de óxido amarillo sobre producto terminado: esta falla puede estar relacionada con procesos de oxidación de partículas provenientes de limaduras que cayeron sobre los perfiles después de haber aplicado el recubrimiento, los operarios pudieron haber pulido alguna pieza sobre el material terminado y olvidar limpiar la superficie, al cabo del poco tiempo se oxidan las partículas generando un mal acabado en la superficie de la pieza ya galvanizada.
- Zonas sin recubrimiento, peladuras de la superficie y desprendimientos: esta falla puede suceder por deficiencias en los procesos, probablemente el tiempo entre el fluxado (fase donde se sumerge el elementos en una solución de cloruro de amonio, para eliminar cualquier óxido de la superficie y brindar una capa protectora antes del proceso de galvanizado) y el galvanizado se prolongó demasiado o la pieza se expuso a una excesiva temperatura de secado superando los 120 °C, haciendo que se pierda la barrera de protección adherida en el fluxado, produciendo discontinuidades en el acabado del galvanizado, (García, 2015).
- Manchas negras en la superficie: en algunos casos, es probable que la aparición de estos defectos en la superficie se deba a excesos de aluminio en la mezcla para inmersión en el proceso del galvanizado, la cuba de galvanizado debe contener mínimo un 98% de zinc y el restante 2% pueden ser aditivos tales como el aluminio el cual contribuye con el acabado brillante de la pieza, (García, 2015).

- Distorsión de elementos de conjuntos: esta falla pudo deberse a las altas temperaturas que alcanzan el proceso de galvanizado en caliente (445 °C), en este caso se pudo haber liberado cualquier tensión existente del proceso de laminación de la pieza o también pudo ocasionarse por la liberación de tensiones de la soldadura aplicada para fijar la lámina al patín de la columna, después de evidenciar el daño en la pieza el operario le indico al inspector que no había visto esas laminas soldadas, de lo contrario no hubiera procedido a realizar el proceso en dichos conjuntos, en total eran 10 columnas con dicha pieza soldada, de las cuales se dañaron 2 durante el proceso.
- Imposibilidad realizar proceso galvanizado a conjuntos: en este caso, debido a la inexperiencia de quien elaboró los planos de fabricación respecto a este proceso, se olvidó la indicación de dejar dos perforación (mínimo 1/2" de diámetro), una en cada extremo del conjunto con el fin de permitir que las mezclas de los diferentes ingresaran al perfil tubular y permitieran su inmersión, por tratarse de un perfil cerrado, era imposible sumergir el conjunto en la cuba para realizar los diferentes procesos.

Solución propuesta

Para el caso de manchas de óxido en superficies terminadas, zonas sin recubrimiento, peladuras de la superficie y desprendimientos, el proveedor propuso limpiar la superficie de cualquier residuo metálico o recubrimiento suelto, posteriormente aplicar pintura a base de zinc que cumpla con las especificaciones de la norma ASTM A-780 numeral A3. Repair using sprayed zinc, este procedimiento fue avalado teniendo en cuenta que las fallas se presentaban en pequeñas superficies de los elementos, adicionalmente se solicitó al proveedor suministrar pintura adicional en caso de que en el transporte, el recubrimiento sufriera algún daño tales como raspaduras.

Cabe anotar que la aprobación de la pintura se dio después de que el proveedor intentó realizar las reparaciones con un producto que aportaba un acabado similar pero que no ofrecía la suficiente adherencia pues se retiraba al pasar la mano sobre la superficie, ver figura 173.



Figura 173. Reparación inicial con producto inadecuado (archivo propio)

En cuanto a las distorsiones presentadas en la lámina soldada al patín de las columnas A1 y B4, teniendo en cuenta que se catalogó como falla de la pieza, se procedió a fabricar nuevamente los dos conjuntos, sin embargo se procedió a aplicar soldaduras de tapón adicionales en varios puntos del patín de la columna con el fin de evitar nuevamente el daño en el elemento, ver figura 174.

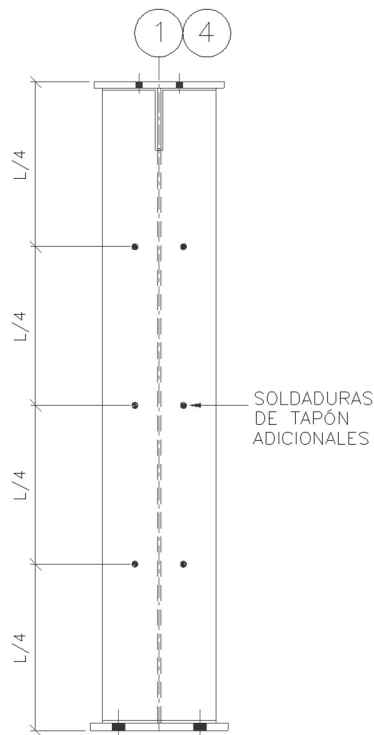


Figura 174. Detalle de soldaduras adicionales en láminas (archivo propio)

Respecto a los conjuntos que no pudieron galvanizarse por tratarse de perfiles tubulares cerrados, se procedió a realizar una perforación de diámetro de 1/2" en cada extremo del elemento el cual permitiría que el perfil drenara durante las diferentes inmersiones y así realizar facilitar el proceso de recubrimiento, ver figura 175.



Figura 175. Perforación para drenaje realizada en sitio (archivo propio)

Enseñanzas

- Al aplicar este tipo de recubrimientos así como en otros casos, es fundamental realizar un control estricto de los procesos, se debe contar con un procedimiento detallado de temperaturas, proporciones y tiempos de las mezclas ya sea para la preparación de la superficie como para la aplicación del acabado.
- A pesar de que de que el proveedor contaba con un sistema de gestión de la calidad y realizó las mediciones de espesores de recubrimiento cumpliendo con las especificaciones ASTM A-153, los operarios realizaron un deficiente control visual de las piezas, el cual hubiera permitido detectar las fallas presentadas.

- La norma ASTM A-780 brinda las especificaciones de reparaciones para superficies galvanizadas en caliente, sin embargo si no se usa un producto o pintura que cumpla con lo indicado, no será suficiente seguir el procedimiento descrito en dicha norma.

Capítulo IV Conclusiones

- La investigación realizada para el desarrollo del trabajo de grado “Análisis de algunas causas de fallas y defectos de las estructuras”, permitió recopilar los tipos de patología más frecuentes que aquejan las estructuras, dando al lector las bases para la identificación del origen de las fallas o daños, siendo este el paso inicial para la evaluación patológica de una estructura, sin embargo queda en manos del lector la profundización de los temas expuestos, con el fin de desarrollar un diagnóstico exitoso en futuros casos de estudio de fallas en los que tenga oportunidad de participar a lo largo de su vida profesional.
- Las diferentes metodologías de exploración, evaluación y diagnóstico de las estructuras expuestas en este proyecto de investigación, permiten abordar desde diferentes puntos de vista las fallas y defectos que habitan en las estructuras, con el fin común de discernir el origen de dichas afectaciones y proponer una solución, sin embargo está en manos del profesional y su criterio la aplicación adecuada de las mismas, para establecer las hipótesis más acertadas y definir las acciones más eficaces, encaminadas a recuperar el estado de funcionalidad y seguridad básica de las estructuras.
- La metodología propuesta o recomendada para la exploración, evaluación y diagnóstico de estructuras, se desarrolló con base en las metodologías expuestas y otras investigaciones, sin embargo no es una camisa de fuerza que deba seguir el profesional, pues teniendo en cuenta que cada proyecto es único, tal vez sea necesario la combinación de varias de ellas o incluso la elaboración de una nueva, lo cual se deja a juicio del profesional, teniendo en cuenta el objetivo de la investigación que vaya a desarrollar.
- El análisis de los diferentes casos de fallas y defectos de estructuras construidas en nuestro país, donde se expusieron las diversas afectaciones, las posibles causas, la propuesta de solución y enseñanzas, permitió evidenciar que el origen de dichos daños proviene de las diferentes etapas del proyecto de construcción, tanto desde su concepción y el diseño, como del proceso constructivo, su uso y mantenimiento, sin

embargo gracias al estudio y diagnóstico de las afectaciones evidenciadas, permitió en la mayoría de los casos, que dichas estructuras tuvieran una segunda oportunidad para seguir cumpliendo la función para la que fueron concebidas inicialmente.

- El análisis de los diferentes casos de fallas y defectos de estructuras, no solo contribuirá con la elaboración del manual de patología – fallas y defectos de las estructuras que actualmente desarrolla el centro de estudios de estructuras y materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería, también servirá para concientizar al lector respecto a la función social que cumple la Ingeniería Civil en nuestra sociedad, pues las diferentes fallencias o deficiencias que se pueden evidenciar en los procesos que se llevan a cabo para la construcción de una estructura, no solo pueden llegar a afectar la funcionalidad de esta, sino también pueden llegar a afectar la condición de seguridad, poniendo en riesgo la vida de sus usuarios u ocupantes.
- Los estudios de patología estructural en la mayoría de los casos permiten recuperar la funcionalidad y seguridad de una estructura afectada por fallas o defectos sin embargo, los profesionales deben tener claro que una reparación o rehabilitación estructural resulta mucho más costosa, que desempeñar un buen trabajo desde el principio cuando se participa en alguna de las fases de un proyecto de obra civil.

Bibliografía

Broto, C. (2005). Enciclopedia Broto de patologías de la construcción. Barcelona.: Links International.

Wiesner, D. Arborización de Bogotá. Recuperado de: http://dianawiesner.com/?page_id=1487

Díaz, P (2014). Trabajo de grado “Protocolo para los estudios de patología de la construcción en edificaciones de concreto reforzado en Colombia”. Bogotá.

Escola, R. (1993). Construcciones con defectos, fallos o peligros. Bilbao.

García, V. (2015). Manual defectos de galvanizado. Recuperado de: <https://garciavega.co/galvanizado-por-inmersion/estructuras-metalicas-web-propuesta-2015-16/>

Helene, P. (2015). Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto. México, D.F.: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

López, F., Rodríguez, V., Santa Cruz J., Torreño I., Ubeda P. (2004). Manual de patología de la edificación. Madrid.: Departamento de tecnología de la edificación, Universidad Politécnica de Madrid.

Monjo, J., (1997). Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos. Madrid.: Munilla-Lería.

Monjo, J., Maldonado, L. (2001). Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas. Madrid.: Munilla-Lería.

Muñoz, H. (2001). Evaluación y diagnóstico de las estructuras de concreto. En seminario Instituto del concreto – Asocreto. Bogotá.

Torres, N. (2010). Presentaciones patología de estructuras. En catedra patología de estructuras. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.

Verbiest, M. (2018). A structured approach to forensic structural investigations of concrete damages. Delft University of Technology.