

**X Congreso Latinoamericano de Patología y XII Congreso de Calidad en la Construcción.
CONPAT 2009. Valparaíso-Chile.
29 de Septiembre al 2 de Octubre**

“ESTUDIO DE LAS CAUSAS DE DOS ACCIDENTES OCURRIDOS EN OBRAS DE HORMIGON ARMADO”

J.L. Gomez¹; I.E. Salgado²

¹. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño
Jose Aguilera 3020. Barrio Altos de Villa Cabrera. Ciudad de Córdoba. Provincia de Córdoba. Argentina.

². Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño
Rancagua 2997. Barrio Villa Azalais. Ciudad de Córdoba. Provincia de Córdoba. Argentina

RESUMEN

En un edificio de 8 pisos con estructura aporricada de hormigón armado que cubre una luz de diez metros sin apoyos intermedios; por diseño arquitectónico se ubicó un auditorio en el primer piso. La estructura sobre planta baja, piso del auditorio, se construyó inclinada para la colocación de los asientos en desnivel. La estructura del techo del auditorio se ubica a una altura de cuatro metros con respecto a la anterior.

En circunstancia del hormigonado se produjo el derrumbe del encofrado con hormigón fresco cayendo sobre el primero. Se analizaron las causas que produjeron el accidente como así también el estado en que quedó la estructura después que recibió el impacto

En otro edificio en donde la construcción de la estructura de hormigón armado había finalizado, a pedido del propietario del departamento del último piso que exigía que su balcón tuviera techo de hormigón, se anexó una losa en voladizo con el sistema de anclaje de barra de acero al hormigón armado existente mediante el uso de resina epoxi. Después de ocho meses de haberse concluido esta tarea y estando habilitado parte del edificio la losa colapso impactando sobre el balcón inmediato inferior y posteriormente sobre la calzada a una altura de veintidós metros.

Se analizaron las causas que produjo el accidente como así también los ensayos de laboratorio de los materiales estructurales usados y de la resina epoxi.

Se concluye el trabajo con reflexiones: en el primer caso la necesidad de verificar la estructura de apuntalamiento a fuerzas laterales y en el segundo caso la de respetar estrictamente las recomendaciones del proveedor de resinas para los anclajes.

Palabras claves: derrumbe, encofrado, hormigón armado, anclaje, epoxi.

RESUMEN

In this work we analyze two cases of accidents occurred during the construction of a reinforced concrete structure.

First Case: Is an eight-stored building with a reinforced concrete structure in frames covering free-light of ten meters without intermediate supports; because of architectonic design it was located an auditorium in first store.

The structure over ground floor, the auditorium floor, was inclined for the positioning of the seats in slope. The structure of the ceiling of the auditorium is about four meters high from the latter.

In the moment of filling with concrete this floor and when this stage was concluding, the plank moulds landslide collapsed and all fresh concrete fall on first store structure with unimaginable energy.

The causes of the accident were analyzed and so the state the structure after it received the hit
Second Case:

In a building where the construction of the reinforced concrete structure had been completed, the proprietor demanded for his last-store department to have a concrete ceiling over a balcony; a reinforced concrete plank was built in projection with an anchorage system of bars of steel to the reinforced concrete existing by means of epoxi resin.

After eight months this task was concluded and being occupied part of the building the slab collapsed hitting the balcony immediate below and then the street, twenty-two meters down.

We analyzed he causes of the accident and also the laboratory tests of the structural materials and the epoxi resin employed. The conclusion of the work include reflections about the controls that cannot be avoided in constructions of reinforced concrete as the descript ones.

Key words: collapsed, concrete, anchorage, epoxi.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este trabajo es transmitir dos experiencias desafortunadas ocurridas en la construcción y reflexionar sobre la necesidad de extremar los controles en el período de ejecución, a fin de evitar un colapso de encofrado con sus consecuencias en el primer caso y un colapso de un elemento estructural en el segundo.

1.1. Primer Caso: Colapso de Encofrado

En un edificio de ocho pisos con estructura aporticada de hormigón armado (se aprecia en la Figura 1 un corte longitudinal) que cubre una luz de diez metros sin apoyos intermedios, se proyecta un auditorio en el primer piso; motivo por el cual la estructura sobre planta baja, futuro piso del auditorio, se construye con la inclinación adecuada para su función.

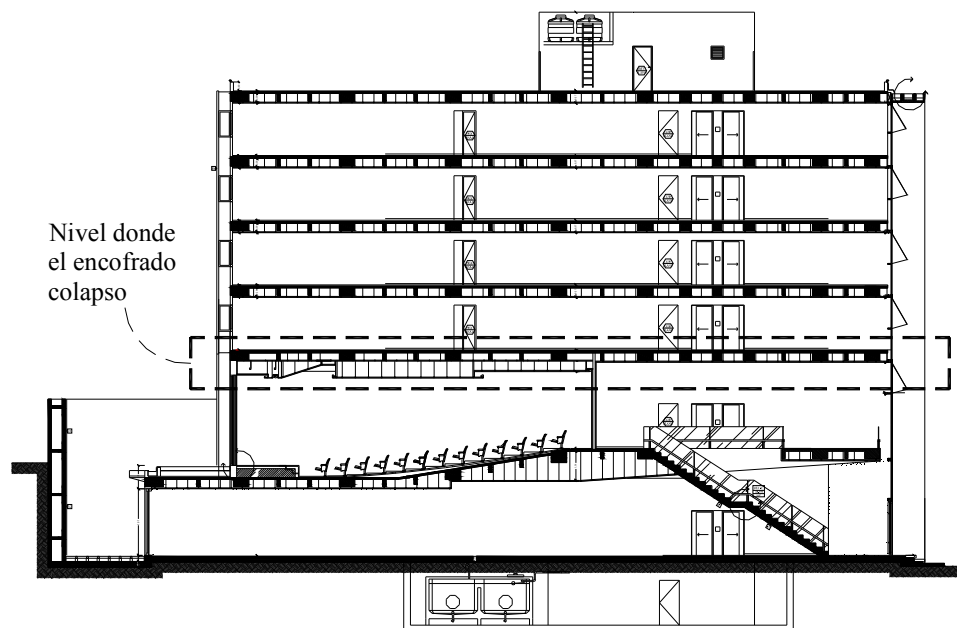


Fig. 1 - Corte de la arquitectura del edificio

Al construirse la estructura del techo del anfiteatro se ejecuta el apuntalamiento metálico del encofrado. La figura 2 y 3 detalla la ubicación los puntales en la planta de estructura relevada por comentarios de las personas a cargo de la obra.

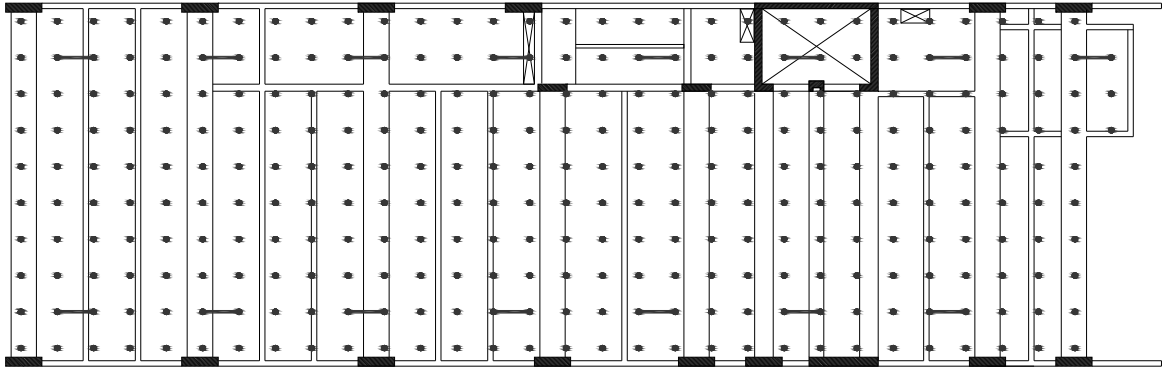


Fig. 2 - Distribución en planta de puntales (1m x 1m de separación)

El análisis de carga de un sector representativo de los elementos estructurales resultó 364 Kg/m^2 que al agregarle una sobrecarga de uso de 500 Kg/m^2 al momento de hormigonar, dado que los puntales tienen un espaciamiento de 1 metro, la carga gravitatoria por puntal es de 864 Kg .

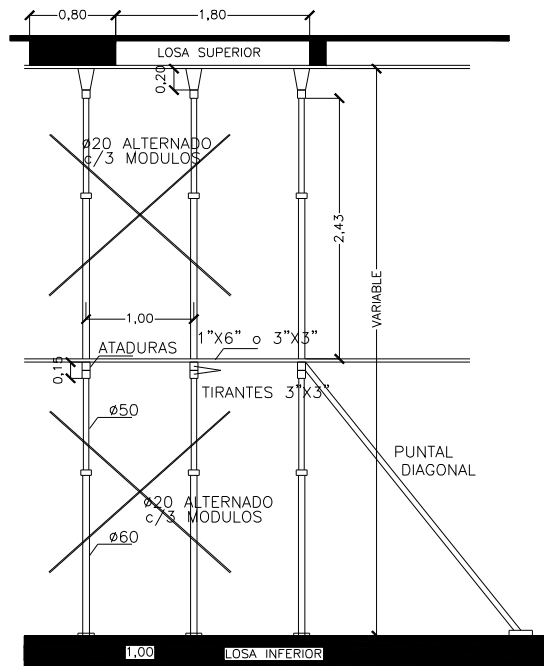


Fig. 3 – Detalle de armado de encofrado.

Según los diagramas de cargas axiales admisibles (presentados en la Figura 4) de los puntales telescópicos usados (E- 2L) de diámetro exterior 60,3 mm para una altura de 4.0 m. resiste una carga de 1600 Kg con un coeficiente de seguridad de 2,1. El detalle de las características de los puntales telescopicos se presenta en la Tabla 1.

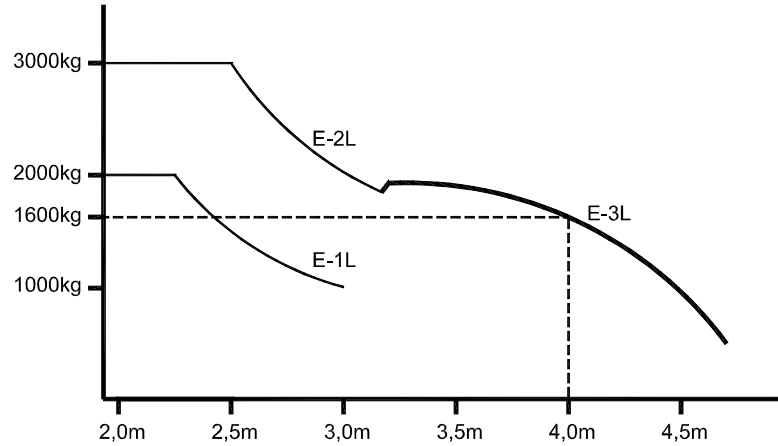


Fig. 4 – Diagrama de cargas axiales admisibles de puntales
 Tabla 1 – Características de los Puntales Telescopicos

Modelo	Longitud		Caño exterior		Caño interior		Peso Kg.
	Min. m	Max. m	ØExt mm	Esp mm	ØInt mm	Esp mm	
E-1L	1,90	3,00	48,3	2,9	38,1	2,5	13
E-2L	1,90	3,16	60,3	3,2	48,3	2,9	18
E-3L	3,16	4,85	60,3	3,2	48,3	2,9	24

Este tipo de puntales trae recomendaciones especiales como la de prestar especial atención a la verticalidad de los mismos, a la rigidez y planitud de los apoyos y a la forma de unirlos. Estos puntales por sí mismos no resisten cargas horizontales de encofrado.

1.2. Acontecimiento Desafortunado

En circunstancias en que se realizaba el hormigonado de la estructura sobre el primer piso (techo del anfiteatro) y cuando faltaba solo un 10% del llenado del encofrado, se produjo el colapso del encofrado cayendo una gran masa de hormigón fresco, armadura y encofrado, que impactó sobre la estructura correspondiente al piso del anfiteatro, produciendo deformaciones importantes en algunos elementos estructurales que recibieron la mayor carga dinámica. La Figura 5 ejemplifica el daño causado por el colapso del encofrado. El detalle del estado de las columnas se muestra en la Figura 6.



Fig. 5 – Bomberos después del accidente



Fig. 6 – Estado de las columnas

1.3. Causas Posibles

En el apartado 1.2 se verificó como satisfactorio el apuntalamiento para la acción de cargas gravitatorias incluida en la sobrecarga de hormigonado. Sin embargo en el caso que nos ocupa hay dos situaciones donde podrían haber generado fuerzas laterales.

- a) En el caso de puntales cuyo apoyo no era horizontal, la reacción es oblicua y su componente horizontal solo puede ser equilibrada por fricción de los elementos que se agreguen para lograr el contacto horizontal con la base del puntal.
- b) Los tubos de acero por donde circula el hormigón fresco desde la bomba hacia la zona a hormigonar tuvieron algún contacto con el encofrado generando en su acción dinámica además de vibraciones, fuerzas laterales, como se describe en la Figura 7.

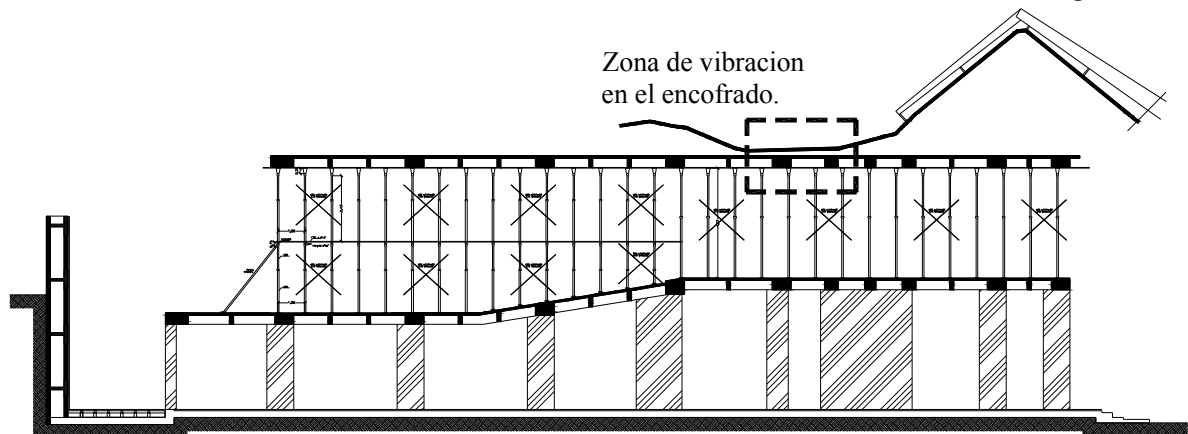


Fig. 7 - Esquema del contacto de la manguera de hormigonado con el encofrado. Estas dos situaciones de generación de fuerzas laterales pueden haber producido el accidente descrito, ya que la organización del apuntalamiento no estaba en condiciones de resistir fuerzas de esta naturaleza.

1.4. Evaluación de la Losa sobre Planta Baja

Se realizó un estudio del estado de la estructura sobre planta baja que sufriera un proceso de sobrecarga inusual como consecuencia del colapso del encofrado de la losa sobre el primer piso en el momento del hormigonado.

Para realizar la evaluación se efectuaron los siguientes ensayos:

a) Ensayos vibratorios consistentes en instalar un acelerómetro en distintos puntos representativos del sector y registrar las vibraciones que siguen a un ligero impulso aplicado por un operador que salta sobre sus pies en las proximidades del punto de medición. Mediante el análisis de estos registros es posible determinar las principales características vibratorias de la estructura en su estado actual.

La frecuencia fundamental medida en las vigas principales se encuentra entre 7,2 y 7,3 Hz, en el segundo modo la frecuencia medida es entre 26 y 27 Hz.

b) Ensayos de propagación de ondas que tienen por objeto medir en forma directa el módulo elástico dinámico del hormigón a nivel de material es decir en sectores de pequeñas dimensiones (0,15 m) en los que el comportamiento mecánico del material no ha sido afectado por las sollicitaciones inusuales a que fue sometida la estructura.

c) Se procedió a extraer y ensayar testigos de 69 mm de diámetro de la losa del sector en estudio. Dicha tarea fue realizada por el Laboratorio de Estructura de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

d) Realización de un modelo numérico que consiste en una representación de la estructura a través de elementos de barras que incluyen las vigas principales, losas y columnas del sector estudiado. En el primer modo la frecuencia es de 7,4 Hz y en el segundo modo es de 8 Hz.



Fig. 8 y 9 - Vistas exteriores actuales del edificio

1.5. Las conclusiones de esta evaluación son las siguientes:

- a) Evidentemente el encofrado colapso por su falta de capacidad resistente a fuerzas laterales. Esto produjo una sobrecarga sobre la losa del piso anterior en estudio muy superior a la sobrecarga del diseño. Sin embargo, las colaboraciones del sistema de puntales que brindaban apoyo a la losa sobre planta baja impidió que dicha losa sufriera deformaciones inelásticas ni fisuras visibles, según surge de la inspección visual y de los resultados de ensayos y evaluaciones realizados que se presentan en este informe.
- b) La estructura de la losa en estudio posee y conserva las propiedades mecánicas propias, las que no se han visto afectadas en rigidez o resistencia como consecuencia de la sobrecarga imprevista asociada al colapso de la losa sobre el primer piso. Sin embargo, los ensayos y evaluaciones realizados indican que la losa es más flexible de lo que podría

esperarse de las especificaciones de resistencia establecidas en el proyecto. Esta característica no afecta a la seguridad de la obra para la finalidad prevista, pero se considera que sería beneficioso para los usuarios del auditorio que se incremente la rigidez de la zona en estudio disponiendo de elementos estructurales que logren dicho incremento como se detalla en las Figuras 10 y 11, realizando los 5 cm de contrapeso previsto en el proyecto, con hormigón estructural con malla Q92 con conectores $\phi 10$ que resistan la totalidad de los esfuerzos rasantes que puedan solicitar las vigas.

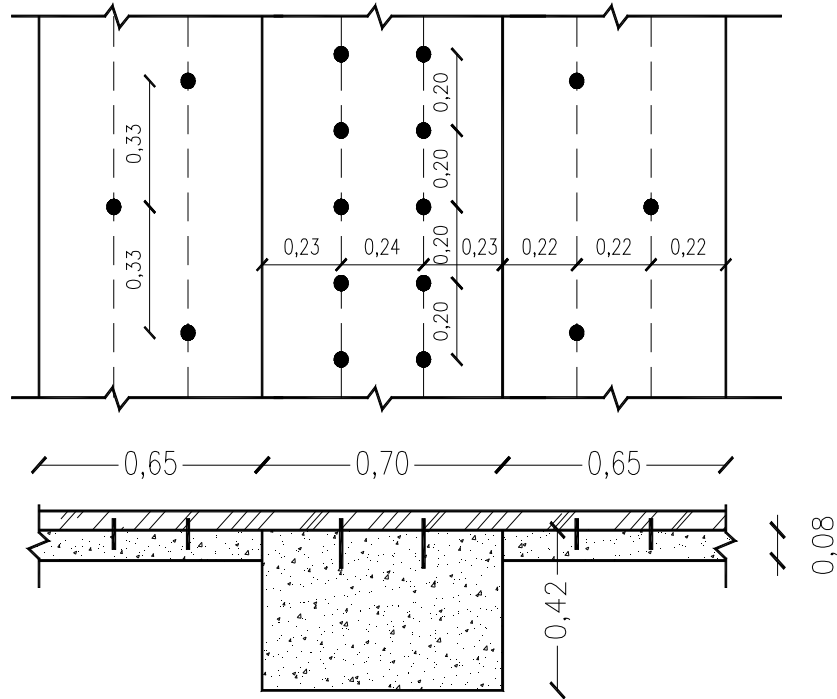


Fig. 10 – Refuerzo para esfuerzos rasantes en pórticos estructurales

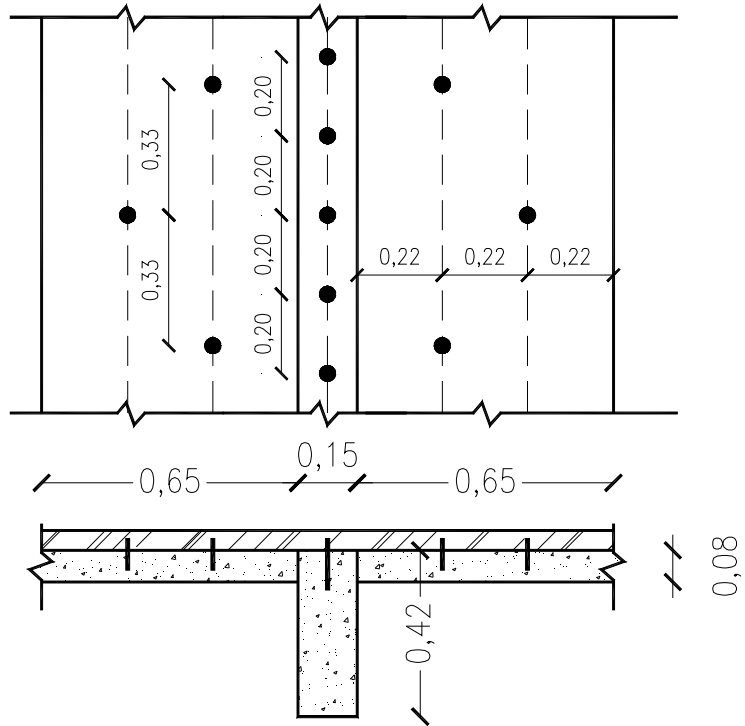


Fig. 11 – Refuerzo para esfuerzos razantes en vigas estructurales

SEGUNDO CASO: COLAPSO DE VOLADIZO

En un edificio con estructura independiente de hormigón armado cuya construcción de la estructura había finalizado de acuerdo a proyecto, por pedido del propietario del departamento del ultimo nivel, que exigía que el techo de su balcón fuera de hormigón armado, se anexó una losa maciza en voladizo de 1,60 m. de luz con el sistema de anclaje de barra de acero al hormigón existente mediante el uso de resinas epoxi.



Fig. 12 - Vista exterior con el alero realizado

Después de ocho meses de haberse construido, la losa colapsó impactando y quebrando la losa inferior nervurada que sirvió de tobogán para que la primera cayera al vacío impactando en la calzada, desde una altura de 22 m.



Fig. 13 y 14 – Detalle de la armadura que quedó tras la demolición del balcón de 6º piso.

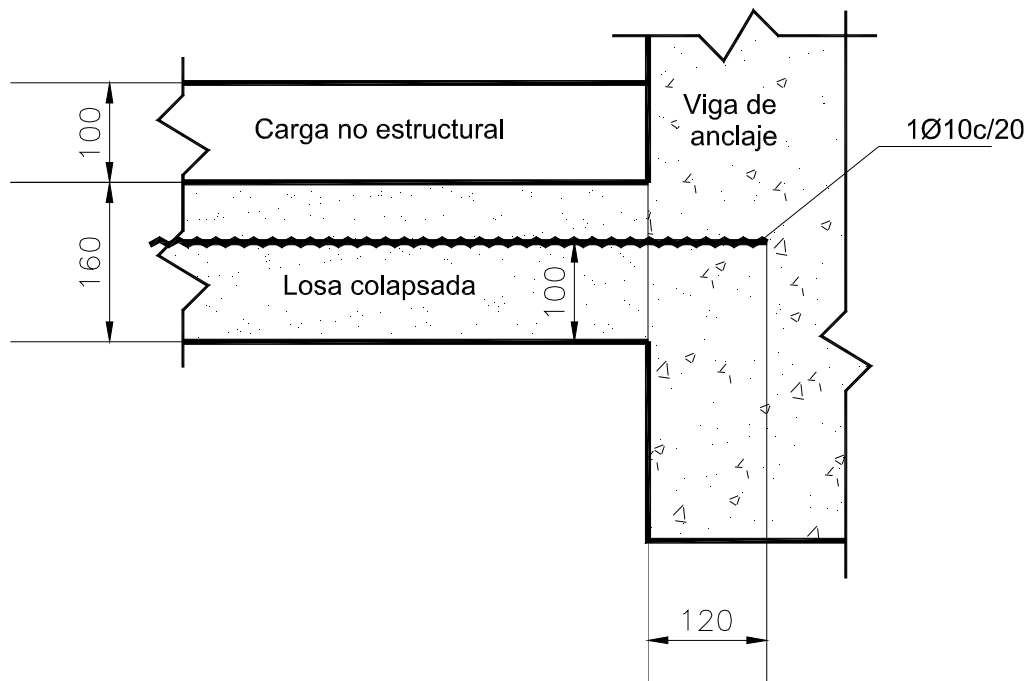


Fig. 15 – Geometría de la estructura según relevamiento realizados en los escombros.



Fig. 16 – Vista exterior con una bandeja para la construcción de los nuevos balcones tras su derrumbe



Fig. 17 y 18 – Borde de viga donde quedaron los agujeros de los anclajes y restos de la losa que cayó a planta baja con los anclajes arrancados.

Para la evaluación de las posibles causas del colapso se solicitó la intervención del Centro de Ensayos no Destructivos y de Evaluación de obras de infraestructura civil.

2.1. Ensayos para la Evaluación de las Posibles Causas del Colapso:

- a) Extracción de testigos para obtener las características mecánicas del hormigón de la viga soporte. Estos testigos ensayados a compresión se obtuvieron una resistencia media igual a 258 kg/cm^2 .
- b) Estudio de los orificios donde se alojaban las barras de acero de anclaje de la losa colapsada. Los testigos fueron luego cortados longitudinalmente por el eje central, dejando expuesta la cara interior del orificio. Los testigos fueron lavados y cepillados enérgicamente hasta retirar el polvo de cemento endurecido que se encontraba adherido en las paredes de la perforación.

Como se aprecia en la figura 19 en el extremo interior de los orificios se observó un espacio vacío de aproximadamente 2cm. de largo, seguido por un tapón de resina color gris claro de 1 cm. de largo por el diámetro de la perforación. Las caras del orificio se encuentran en parte cubiertas por espesores pequeños de la misma resina, observándose en algunos sectores el hormigón limpio. El sector del orificio donde han estado alojadas las barras de acero se limita a 12 cm. desde la superficie de la viga.



Fig. 19- Testigo 5826-1 extraído en coincidencia con una perforación

c) Ensayo de tracción en barra de anclaje

Se prepararon siete anclajes con barras de acero y puente de adherencia similares a los utilizados en la estructura en estudio. En el hormigón se realizaron siete perforaciones de 12 cm. de longitud, cuatro con mecha de 12mm. y tres con mecha de 14 mm.

Se preparó pasta de SIKADUR 31 según especificaciones del fabricante.

Los ensayos de tracción se realizaron con un dispositivo hidráulico de sección anular conectado a una bomba manual con un manómetro calibrado como se muestra en la Figura 20.

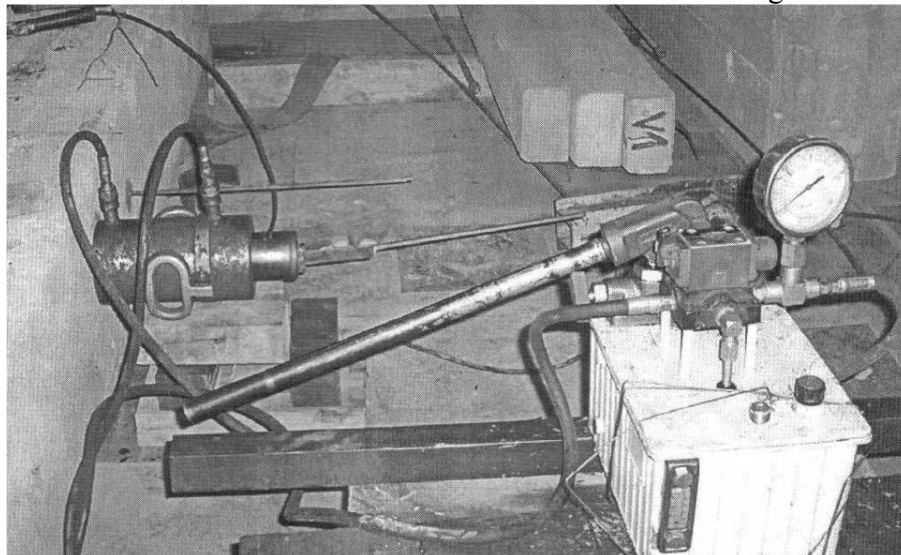


Figura 20 - Dispositivo de aplicación de la carga durante el ensayo de una barra lateral.

Tabla 2 – Resultados de los ensayos a tracción

Diámetro Perforación	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
14mm	4,30 T	4,50 T	4,70 T
12mm	5,10 T	5,50 T	5,30 T

De acuerdo a las características de la losa y ubicación de las armaduras para una carga permanente de peso propio de losa y cubierta de techo de $384 + 190 = 574$ kg/m.

La tensión de trabajo del acero sería

$$\sigma_s = M_{\text{máx}} / (A_s * h)$$

$$\sigma_s = 563 / (3,75 \text{ cm}^2 * 0,08 \text{ m}) = 1877 \text{ kg/ cm}^2$$

$$\sigma_s = 1877 \text{ kg/ cm}^2 \quad [1]$$

La fuerza de arrancamiento

$$F = \sigma_s * A_s$$

$$F = 1407 \text{ kg.} \quad [2]$$

2.2. Conclusiones de la Evaluación:

- El cociente entre la resistencia mínima de los anclajes similares ensayados en el laboratorio y la fuerza de arrancamiento calculada resulta $4.3 / 1.407 = 3.06$. Este margen de seguridad se podría encontrar aceptable si en la obra se hubieran tomado los mismos recaudos seguidos en el laboratorio.
- La resistencia media obtenida en los anclajes realizados en la cara superior (eje vertical) y en la cara lateral (eje horizontal) de la viga resultaron similares, descartándose por tal motivo que la orientación de los orificios tenga influencia en la resistencia final de los anclajes.
- Los resultados de los ensayos de laboratorio permiten concluir que el diseño de los mismos fue correcto. La falla de los anclajes se debió a un defectuoso llenado de la cavidad con resina, en definitiva a mala calidad de la ejecución.
- Se decidió volver a realizar los voladizos con las mismas especificaciones anteriores, pero con mano de obra especializada.

Consideraciones Finales

Tanto el primer caso, por la falta de horizontalidad y rigidez de los apoyos de los puntales y la imperfecta materialización de planos resistentes ante fuerzas laterales en el sistema de encofrado; como el segundo caso, el defectuoso llenado de la cavidad con resina epoxi, nos deben hacer reflexionar sobre la responsabilidad en el “diseño” y la influencia del “factor humano” en la seguridad de las construcciones.

Una mínima falta de control durante la ejecución puede traer aparejado serios problemas en la obra como los analizados en este trabajo.

Esta es la razón por la cual es necesaria la implementación de la Garantía de Calidad durante las actividades de diseño y ejecución. La Garantía de Calidad es la herramienta moderna para reducir la influencia del error humano en la probabilidad de falla.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Patología y terapéutica del hormigón armado – M. Fernández Canovas
- [2] Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión de estructura de hormigón armado – CYTED
- [3] Patología, recuperación y refuerzos de estructuras de concreto – Vicente Custodio Moreira de Souza – Thomas Ripper
- [4] Manual de rehabilitaciones de estructuras de hormigón – Pulo Helene – Fernando Pereiro
- [5] Informes técnicos del Departamento de Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales – Universidad Nacional de Córdoba