

Diagnóstico y propuesta de rehabilitación estructural de un edificio en Monte Maíz, provincia de Córdoba

Diagnosis and proposal for structural rehabilitation of a building in Monte Maíz, province of Córdoba

Enrique S. Zanni y Julio A. Capdevila

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño y Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

arqzanni@gmail.com

RESUMEN

Los suelos loésicos ocupan gran parte de la provincia de Córdoba y son propensos a sufrir colapso por cambios volumétricos en presencia de agua. Además, el fenómeno del Niño provocó que 2014 resultara el año de mayores precipitaciones de los últimos 40 años, originando el ascenso del nivel freático en gran parte del sudeste provincial. El incremento en el contenido de humedad del suelo generó una disminución en su capacidad soporte, provocando el asiento diferencial de la estructura que apoya sobre el mismo. El presente trabajo detalla las causas de los asentamientos producidos en un edificio de 3 plantas de la localidad de Monte Maíz, provincia de Córdoba, junto con la alternativa de solución propuesta. Asimismo, se incluye la verificación y proyecto de refuerzo de las losas de entrepiso con fisuras por flexión, debido al posible cambio de uso del mismo.

ABSTRACT

Loessian soils occupy a large part of the province of Córdoba and are prone to collapse caused by volumetric changes in the presence of water. Besides, the El Niño phenomenon triggered 2014 to be the year with the highest rainfall in the last 40 years. This situation caused the rise of the water table in a large area of the southeastern province. The increase in the moisture content of the soil generated a decrease in its bearing capacity, causing differential settlements of the structure supported on it. This article details the causes of the settlements produced in a 3-story building in the town of Monte Maíz, province of Córdoba, along with the proposed alternative solution. Also, the verification and reinforcement project of the mezzanine slabs with flexural cracks is included, due to the possible change of use of the same.

PALABRAS CLAVE: patología, asentamientos, suelos loésicos, micropilotes, resinas epoxi.

KEY WORDS: pathology, settlements, loessian soils, micropiles, epoxy resins.

FECHA DE RECEPCIÓN: 19/4/2024 | **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 18/6/2024

DOI: <https://doi.org/10.30972/arq.237659>

PLANTEO DEL PROBLEMA

El edificio en estudio posee estructura independiente conformada por pórticos de hormigón armado y losas macizas de 0.10m y 0.12m de espesor. El sistema de fundación consiste en bases aisladas de hormigón armado, a razón de una por columna, apoyadas a una profundidad de 2.50m. Los muros de cierre del edificio se encuentran fundados con un cimiento superficial de hormigón ciclópeo a 0.70m de profundidad, cuyas dimensiones son 0.45m de ancho y 0.40m de altura, sobre el que apoya un encadenado horizontal.

Un estudio de suelo realizado en 2004 determina que hasta la profundidad aproximada de 14m se desarrolla un perfil de limo y limo arenoso de baja compacidad, saturado y con valores elevados de colapso relativo por humedecimiento bajo carga. Estos suelos, denominados loésicos, al tener ligeramente cementadas sus partículas con sales cálcicas hidrosolubles, tienen la particularidad de poseer una aceptable rigidez y consecuente capacidad de carga en condición de humedad natural, disminuyendo el valor de ambas propiedades ante incrementos en sus tenores de humedad, aún sin estar saturados. Los procesos involucrados en el proceso de colapso del suelo han sido ampliamente estudiados en la literatura tanto para los loess argentinos (Reginatto y Ferrero, 1973; Redolfi, 1982; Rocca et al., 1992; Rinaldi V.A. et al., 2007), como para otros depósitos del mundo (Dudley J.H., 1970; Barden L. et al., 1973). Resulta factible encontrar en los 14m de espesor del estrato de limos, la intercalación de lentes del mismo suelo pero con algún grado de cementación (tosca) y nódulos dispersos. El estudio geotécnico informa que el nivel freático en el año 2004 oscilaba alrededor de los 3.30m.

A partir de estudios realizados en 2014 se pudo detectar un ascenso del nivel freático hasta la profundidad de apoyo de las bases aisladas (aprox. -2.50m) con lo cual todo el suelo bajo las mismas se encuentra en condición saturada. Al considerar que el suelo es colapsable, esta variación en el nivel freático podría haber ocasionado el asentamiento masivo de las bases. Este asentamiento fue relevado y sus valores de descenso se exponen en la Figura 1.

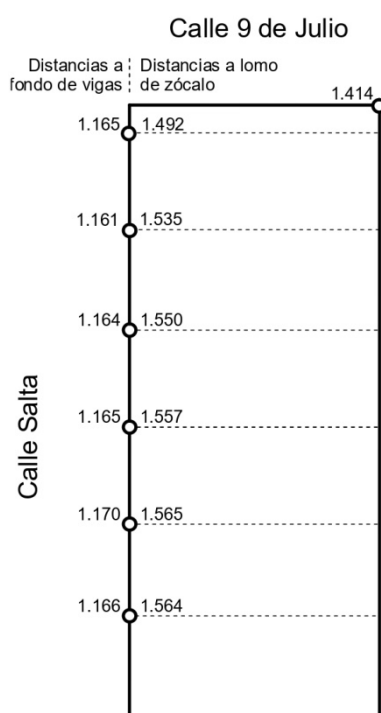


Figura 1: Esquema de la planta del edificio en donde se indican las medidas desde un plano de comparación determinado hasta el fondo de viga y lomo de zócalo. Fuente: Elaboración propia.

En planta baja los muros medianeros no se encuentran vinculados a las bases y están fundados mediante cemento común a 0.70m de profundidad. Si bien estos muros pudieron no haber sufrido asentamientos por colapso del suelo de apoyo, seguramente se han visto arrastrados por efecto del asentamiento del pórtico que los enmarca.

Del análisis de la Figura 1 resulta factible concluir que todas las columnas han descendido de manera cuasi uniforme (las distancias al plano de referencia son similares), lo que permite inferir que el origen de los asentamientos es de tipo global, reforzando la hipótesis del colapso del suelo de apoyo por ascenso

de la napa freática. Por otro lado, las distancias a lomo de zócalo indicadas en la Figura 1 ponen de manifiesto el descenso de los muretes bajo las vidrieras del edificio. Si bien las cargas de estos muros son relativamente bajas acusan asentamientos diferenciales aleatorios importantes debido al arrastre que se produce por el descenso de las bases aisladas. Finalmente, las losas de entrepiso presentan fisuras, originadas aparentemente por esfuerzos de flexión superiores a los admisibles. Al considerar que el comitente es una Mutual Deportiva, y que al momento del estudio aún no había decidido el destino del edificio, se verificaron dos hipótesis de carga:

- a) Carga dinámica, para uso deportivo (función actual del inmueble).
- b) Carga estática, para uso residencial.

DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DE CIMENTACIONES

En base al análisis de situación realizado, se diagnostica que los daños observados corresponden a un asentamiento global de la superestructura, originado en el colapso del suelo de apoyo por humedecimiento del mismo, a partir del ascenso del nivel freático, cuya posición final coincide con el nivel de desplante de las bases aisladas existentes.

La propuesta de reparación de la estructura en estudio consiste en el recalce de las bases de manera que las mismas transmitan las cargas que reciben, a un sustrato más profundo y con mayor capacidad de carga. El estudio de suelos realizado en 2004, permite determinar que el sustrato de limos cementados (tosca) que se ubica a 14m de profundidad puede resultar un manto apto para tal fin. Debido a la posición de la napa freática resulta inviable la ejecución de pilotes o pozos romanos excavados a mano, debiendo proponerse como alternativas la ejecución de pilotes excavados mecánicamente con lodos bentoníticos o hincados.

A tales efectos, se propone la ejecución de micropilotes hincados de caños de acero sin costura, denominados Manesmann, de 73 o 90mm de diámetro externo, acoplados por soldadura cada 3 metros, hasta llegar a la resistencia de rechazo del terreno, la que deberá ser compatible con el horizonte de fundación previsto en el estudio de suelos. La ejecución mecánica de pilotes resulta inviable en razón de la imposibilidad de su excavación dentro de los locales del edificio. Las bases aisladas serán recalzadas mediante estos micropilotes, que recibirán la carga a partir de la resistencia friccional producida entre el hormigón de la base y el fuste de acero del micropilote, tal como se observa en la Figura 2. Para ello se perforará la base con corona diamantada, minimizando las vibraciones a inducir sobre la estructura, de manera de hincar el caño en el suelo a través del hoyo practicado. Luego, se rellenará el espacio entre el hormigón y el acero mediante un relleno de mortero grouter, a fin de garantizar la transferencia de carga. La cantidad de micropilotes requerida para el recalce es función de la carga que recibe cada base aislada y se presenta en la Figura 4.

El recalce del cimiento “común” del muro medianero presenta un procedimiento constructivo ligeramente diferente ya que no resulta factible perforar el macizo de hormigón para poder transferir la carga por fricción. En consecuencia será necesario plantear una estructura auxiliar para transferir la misma, tal como se observa en la Figura 3. En este sentido, luego de la hinca de los elementos se dispone en el extremo superior de cada micropilote, una ménsula de perfiles laminados, soldados entre sí, que luego será vinculada al caño hincado. La parte superior del cabezal debe quedar inmediatamente por debajo del cimiento a recalzar, a fin de recibir la carga del mismo y transmitirla al pilote. La Figura 4 muestra la distribución de los micropilotes de recalce de los muros de cierre.

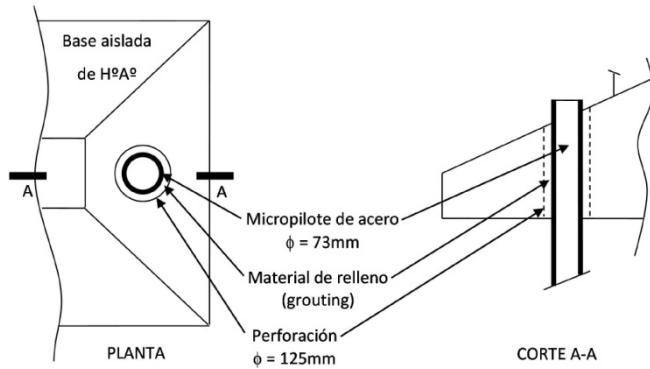


Figura 2: Planta y corte de la forma de vinculación entre el micropilote y la base aislada. Fuente: Elaboración propia.

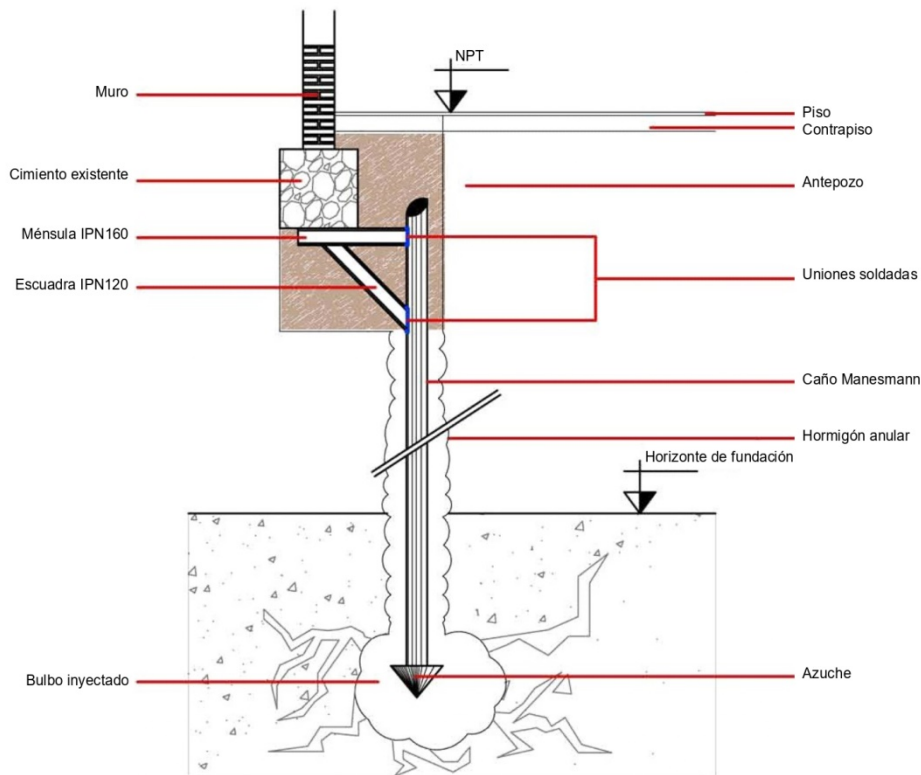


Figura 3: Esquema de apoyo del cimiento común en el micropilote de acero para asegurar la transferencia de carga.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se presentan los parámetros de cálculo de los micropilotes que permitirán luego determinar la cantidad a disponer por cada base aislada y para el recalce del muro.

Tabla 1: Parámetro de cálculo de cada micropilote.

Material	Diámetro [mm]	Diám. perforación [mm]	Resistencia friccional [kg/cm ²]		Capacidad de Carga [tn]
			Cemento	Grouting	
Acero	73	125	10	20	20
Acero	90	150	10	20	30

Fuente: elaboración propia.

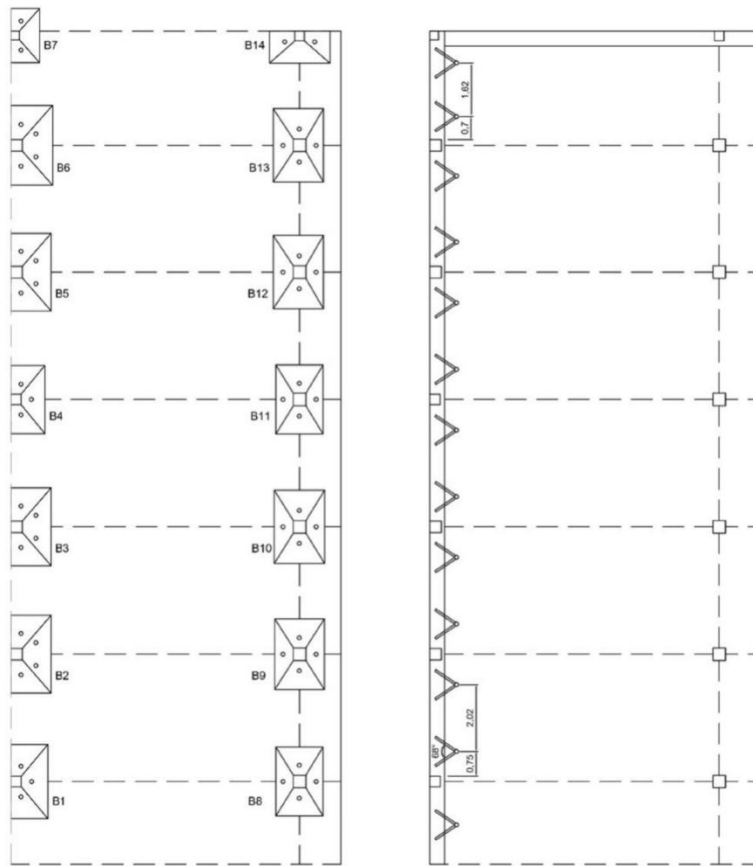


Figura 4: Disposición de los micropilotes para recalce de bases de fundación y de muros perimetrales..

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE LOSAS DE ENTREPISO

El edificio posee entresijos de losas macizas de hormigón armado, detalladas en la Figura 5, que presentan fisuras en la cara inferior, atribuibles a deformaciones excesivas, eventualmente originadas por espesor y armadura insuficiente. A continuación, se detalla la verificación estructural de las losas mencionadas en relación con las alternativas de uso propuestas.

Descripción de elementos a verificar

Las losas a verificar se encuentran armadas en una sola dirección con una luz de 3.85m. Las armaduras disponibles se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Detalle de armaduras disponibles en las losas del edificio. Fuente: elaboración propia.

Zona	Espesor de Losa	Armadura disponible
Tramos	10 cm	1 diám. 8mm cada 13 cm
	12 cm	1 diám. 8mm cada 9 cm
Apoyos	10 cm	1 diám. 8mm cada 19.5 cm
	12 cm	1 diám. 8mm cada 13.5 cm

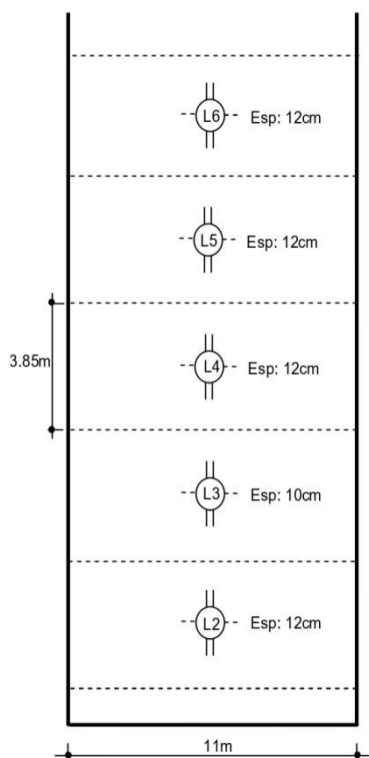


Figura 5: Losas sobre PB y sobre 1° piso en donde se indican espesores y dimensiones. Fuente: Elaboración propia.

Verificación de losas bajo carga dinámica

Uno de los potenciales usos del edificio en estudio es el de un gimnasio, en donde se desarrollarán actividades que pueden inducir sobre la estructura cargas dinámicas. A los fines de poder determinar los parámetros necesarios para efectuar las verificaciones necesarias se procede a realizar el análisis de carga correspondiente, cuya síntesis se presenta en la Tabla 3. En relación a la ubicación de las losas se realizará la verificación sobre PB y sobre 1° Piso, teniendo en cuenta que son las losas solicitadas por carga dinámica. El Reglamento CIRSOC 101-2005 establece que “...las tribunas, estadios o estructuras similares suelen estar sujetas a cargas de impacto causadas por muchedumbres moviéndose al unísono Para tener en cuenta este efecto... se puede adoptar un coeficiente de impacto de 1.5, por el que se deberán multiplicar las cargas para realizar el cálculo de los elementos estructurales cercanos a la ubicación de la carga...”

Por efecto de la interacción humano-estructura, considerando el efecto de la acción dinámica de un conjunto de personas realizando alguna actividad física, Villamizar et al. (2002) y Ortiz et al. (2008) plantean factores de amplificación en función de la frecuencia, siendo igual a 2.45Hz para ejercicios de salto. En este sentido, será necesario determinar la frecuencia natural del sistema para verificar que esté lo suficientemente alejada de la frecuencia de la carga dinámica de manera de evitar el efecto de resonancia, a partir de (1) y (2).

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

$$k = \frac{E \cdot h^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2)$$

Siendo f la frecuencia natural del sistema, k la rigidez flexional, m la masa, E el módulo de deformación del hormigón, h el espesor de la losa y ν el coeficiente de Poisson del hormigón.

Tabla 3: Síntesis del análisis de carga de losas para la utilización del edificio como gimnasio.

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 4 presenta los valores de los parámetros indicados para hormigón.

Tabla 4: Parámetros que permiten determinar la frecuencia natural de las losas de 10 y 12 cm de espesor.

Parámetro	Valor	Valor
Módulo E	200.000 kg/cm ²	200.000 kg/cm ²
Espesor de la losa h	10cm	12cm
Coeficiente de Poisson ν	0.2	0.2
Masa del sistema m	31700 kg	32100 kg
Rigidez k	17x10 ⁶ kg/cm	17x10 ⁶ kg/cm
Frecuencia natural f	3.70 Hz	3.65 Hz

Fuente: elaboración propia.

A partir del valor de frecuencia natural obtenida se puede concluir que no existe posibilidad de entrar en resonancia. Villamizar et al. (2002) proponen valores de factores de amplificación promedio entre 1.4 y 1.6 según la cantidad de personas que se encuentren saltando sobre la losa. Luego del análisis efectuado se adopta un factor de amplificación de la carga viva de 1.5, adoptando como carga total de losa:

Losa espesor 12cm: $qL12 = 1.26 \text{ tn/m}^2$

Losa espesor 10cm: $qL10 = 1.22 \text{ tn/m}^2$

Los valores de carga actuante determinados se emplearon para modelar numéricamente, en un programa de cálculo estructural, las losas existentes de manera de obtener los esfuerzos internos de las mismas. Los resultados se presentan en la Figura 6. En relación a los momentos de tramo y apoyo de los dos tipos de losas, se determinan las armaduras requeridas, considerando hormigón H-17 y acero torsionado ADN-420. Las armaduras requeridas se presentan en la Tabla 5.

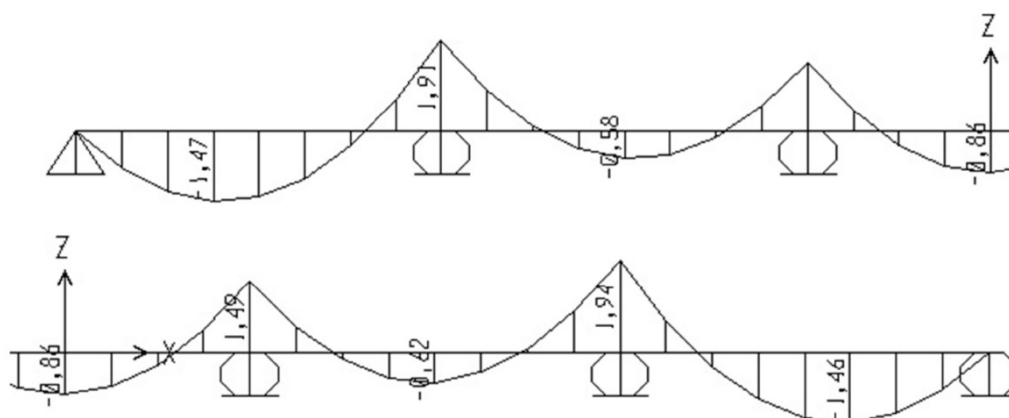


Figura 6: Diagramas de momentos flectores de las losas bajo cargas amplificadas. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5: Armadura requerida según los esfuerzos determinados bajo cargas dinámicas.

Parámetro	Valor	Valor
Módulo E	200.000 kg/cm ²	200.000 kg/cm ²
Espesor de la losa h	10cm	12cm
Coefficiente de Poisson ν	0.2	0.2
Masa del sistema m	31700 kg	32100 kg
Rigidez k	17x10 ⁶ kg/cm	17x10 ⁶ kg/cm
Frecuencia natural f	3.70 Hz	3.65 Hz

Fuente: elaboración propia.

Según los valores de armadura de tramo requerida en Tabla 5, las losas L2 y L6 necesitarían un 20% más de armadura, mientras que las losas L3, L4 y L5 disponen de armadura necesaria.

En relación a los valores de armadura requerida en apoyos, las L2, L3, L5 y L6 disponen de menos armadura que la necesaria para resistir los momentos, lo que produce fisuración en la cara superior de la losa en zonas próximas a los apoyos con la consiguiente pérdida de continuidad estructural, lo que puede provocar deformaciones no admisibles con el funcionamiento de la estructura.

Verificación de losas bajo carga estática

La otra alternativa, respecto del potencial uso del edificio en estudio, es el residencial, para el cual las cargas son estáticas. A los fines de poder determinar los esfuerzos necesarios para efectuar los análisis y verificaciones correspondientes se procede a realizar el análisis de carga correspondiente, cuya síntesis se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6: Síntesis del análisis de carga de losas para la utilización residencial del edificio.

	Losa espesor 0.10m	Losa espesor 0.12m
Total carga muerta	570 kg/m ²	608 kg/m ²
Sobrecarga útil uso residencial (según CIRSOC 101-2005)	200 kg/m ²	200 kg/m ²
Carga total	770 kg/m ²	808 kg/m ²

Fuente: elaboración propia.

Luego de determinar los valores de carga actuante se modelan, en un programa de cálculo estructural, las losas existentes de manera de determinar los esfuerzos internos de las mismas. Los resultados se presentan en la Figura 7.

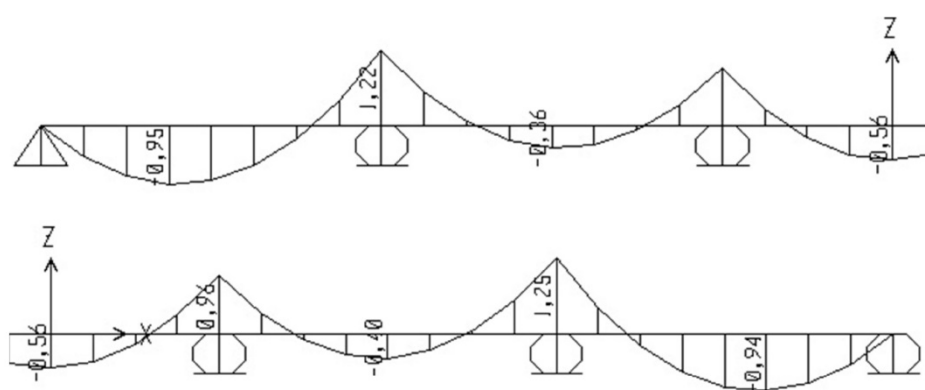


Figura 7: Diagramas de momentos flectores de las losas en análisis para uso residencial. Fuente: Elaboración propia.

En relación a los momentos de tramo y apoyo de los dos tipos de losas, se determinan las armaduras requeridas, considerando hormigón H-17 y acero torsionado ADN-420. Las armaduras requeridas se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7: Armadura requerida según los esfuerzos determinados bajo cargas estáticas.

	Espesor de Losa	Armadura requerida
Tramos	10 cm	1 diám. 8mm cada 17 cm
	12 cm	1 diám. 8mm cada 12 cm
Apoyos	10 cm	1 diám. 8mm cada 7 cm
	12 cm	1 diám. 8mm cada 9 cm

Fuente: elaboración propia.

Según los valores de armadura de tramo requerida, todas losas (L2 a L6) disponen de la armadura necesaria. En relación a los valores de armadura requerida en apoyos todas las losas (L2 a L6) disponen de menos armadura que la necesaria para resistir los momentos.

En la Tabla 8, se presenta una síntesis ordenada de los requerimientos de armadura y la disponibilidad de las mismas según cada losa y según el tipo de uso que tenga el edificio.

Los pórticos de hormigón armado no resultaron objeto de verificación ya no manifiestan daños visibles por esfuerzos de corte o flexión, lo que permite inferir que la armadura disponible resulta suficiente.

Propuesta de rehabilitación de losas

En relación con el uso futuro del edificio en estudio (sea gimnasio o residencial), se agregará en la cara superior de las losas, en coincidencia con los apoyos, la sección de armadura necesaria según Tabla 8. En los tramos en los que resulta insuficiente la armadura disponible, el requerimiento es despreciable, concluyendo que no se considera necesario reforzar las losas, más aún considerando que al aumentar la sección de armadura de apoyos, se recuperará la continuidad estructural, disminuyendo los momentos flectores del tramo.

Tabla 8: Cuadro resumen con los requerimientos y armaduras disponibles, además se incluye la sección de armadura a agregar como refuerzo.

Tipo de uso	Zona	Esp.	Armadura Disponible	Armadura Requerida	Diferencia
Gimnasio	Tramo	10 cm	1 diám. 8mm c/13cm	1 diám. 8mm c/15cm	-
		12 cm	1 diám. 8mm c/9cm	1 diám. 8mm c/7.5cm	1.2 cm ²
	Apoyo	10 cm	1 diám. 8mm c/19.5cm	1 diám. 8mm c/4cm	10.0 cm ²
		12 cm	1 diám. 8mm c/13.5cm	1 diám. 8mm c/6cm	4.7 cm ²
Residencial	Tramo	10 cm	1 diám. 8mm c/13cm	1 diám. 8mm c/17cm	-
		12 cm	1 diám. 8mm c/9cm	1 diám. 8mm c/12cm	-
	Apoyo	10 cm	1 diám. 8mm c/19.5cm	1 diám. 8mm c/7cm	4.6 cm ²
		12 cm	1 diám. 8mm c/13.5cm	1 diám. 8mm c/9cm	2.0 cm ²

Fuente: elaboración propia.

Se estudiaron dos alternativas de rehabilitación: la primera consiste en la utilización de cintas de PRFC (Poliéster Reforzado con Fibra de Carbono) que aunque más resistentes, son más dúctiles que el acero, por lo que su eventual elección implicaría cambiar el comportamiento de la estructura. La segunda alternativa y más apropiada para la rehabilitación de la estructura es el agregado de platabandas metálicas (planchuelas de acero F24). Las mismas deberán aplicarse con resina epoxi tixotrópica, en espesores entre 0.5 y 2mm.

CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo permiten obtener las siguientes conclusiones:

1. El ascenso de la napa freática, hasta el nivel de desplante de fundaciones superficiales, en zonas ocupadas por suelos loésicos propensos a sufrir procesos de colapso por humedecimiento bajo carga, resulta perjudicial para el sustrato de apoyo, ocasionando serios daños en la estructura.
2. La propuesta de recalce de bases aisladas mediante la utilización de micropilotes hincados resulta una solución adecuada para el edificio en estudio. El impacto sobre la estructura y solados existentes es mínimo.
3. El cambio en el destino de un edificio puede generar esfuerzos que la estructura no sea capaz de absorber provocando deterioro de la misma y siendo necesario su refuerzo.
4. El refuerzo de losas, en el edificio en estudio, con la utilización de poliéster reforzado con fibra de carbono resulta muy dúctil pudiendo afectar el comportamiento de la estructura por lo que resulta más adecuada la utilización de platabandas metálicas adheridas con resina epoxi.

BIBLIOGRAFÍA

Barden L., Mc Gown A. y Collins K. (1973). The collapse mechanism in partially saturated soils. *Engineering Geology*, (7), 49-60.

Dudley J.H. (1970). Review of collapsing soils. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 6 (3), 925-947.

Ortiz A. R., Gómez D. y Thomson P. (2012). Efecto de la interacción humano-estructura en las propiedades dinámicas de una tribuna. *Ingeniería y Competitividad*, 14(1), pp. 63-73.

Redolfi E.R. (1982). Determinación rápida de la presión de fluencia en suelos loésicos. *Boletín de Información de Laboratorio de Carreteras y Geotecnia. Madrid*. 51, 3-8.

Reginatto A.R. y Ferrero J.C. (1973). *Collapse potential of soils and soil-water chemistry*. Proceedings of Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, Vol 2.2, 177-183.

Rinaldi V.A., Rocca R.J. y Zeballos M.E. (2007). Geotechnical characterization and behaviour of argentinean collapsible loess. *Characterization and Engineering Properties of Natural Soils*. Tan, Phoon, Hight & Leroueil (eds). Taylor & Francis Group, London.

Rocca R.J., Redolfi E.R. y Reginatto A.R. (1992). *Determination of collapse potential of soils*. 7th International Conference on Expansive Soils, Dallas, Texas, 73-77.

Villamizar S., Gómez D. y Thomson P. (2014). Efectos de interacción humano-estructura en losas. *DYNA*, 81(184), 129-137.