

EVALUACION DE LA RESISTENCIA DE LA LOSA DE CLAUSURA EN EL HOSPITAL DE RIONEGRO

Por: Gabriel García Moreno

INTRODUCCION

A petición del Servicio Seccional de Salud de Antioquia, el suscrito Jefe del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Minas de Medellín, en colaboración con la firma CVL Ltda. Ingenieros Civiles, quienes son los asesores del Servicio en las obras que se proyectan ejecutar, elaboró y llevó a cabo un ensayo de carga sobre la losa de clausura del hospital de Rionegro.

La necesidad de este ensayo se presentó cuando se pretendió utilizar dicha losa como entrepiso para un ensanche en proyecto, y no se encontraron los planos y cálculos estructurales de la misma.

Ante el desconocimiento de las cargas de diseño, se supusieron éstas, y se proyectó un ensayo de carga no destructivo que pusiese de manifiesto la flexibilidad de la estructura y su capacidad de recuperación. Como obviamente no se podía ejecutar un ensayo de carga según las normas del ACI 318-71, parte 6, capítulo 20, artículo 20.4, se resolvió ejecutar una evaluación de resistencia combinando métodos analíticos con un ensayo de carga, de acuerdo con los artículos 20.1, 20.2 y 20.3, del mencionado capítulo del ACI. Se pretendió comparar las deflexiones elásticas teóricas, deducidas analíticamente, con las deflexiones reales, obtenidas del ensayo de carga, supuestas éstas dentro de los límites de servicio, obteniendo así una indicación de la forma de trabajo de la estructura.

La resistencia del hormigón se obtuvo de una serie de ensayos esclerométricos, ejecutados éstos con un esclerómetro de huella de la casa Gerhard Zorn de Alemania Oriental, de propiedad del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Minas.

1. ENSAYOS ESCLEROMETRICOS:

Se efectuaron el 6/III/76 y se adjutan las lecturas obtenidas con los esclerómetros: el mencionado de huella, y un esclerómetro de rebote, denominado como "de golpe", en las páginas 49 y 50. Los dos esclerómetros se calibraron sobre diez cilindros de hormigón, de resistencia conocida. De los resultados obtenidos se dedujeron las rectas de regresión estadística, que nos correlacionan la resistencia del

hormigón con la lectura de los dos esclerómetros: ecuaciones 1 y 2 de la página 52. Obviamente, la más consistente es la correlación 1 ya que la 2 no da resultado lógico (disminuye el rebote de impacto con el aumento de resistencia de hormigón).

En la página 49 damos los valores obtenidos de la resistencia $R = f'c$ con la expresión

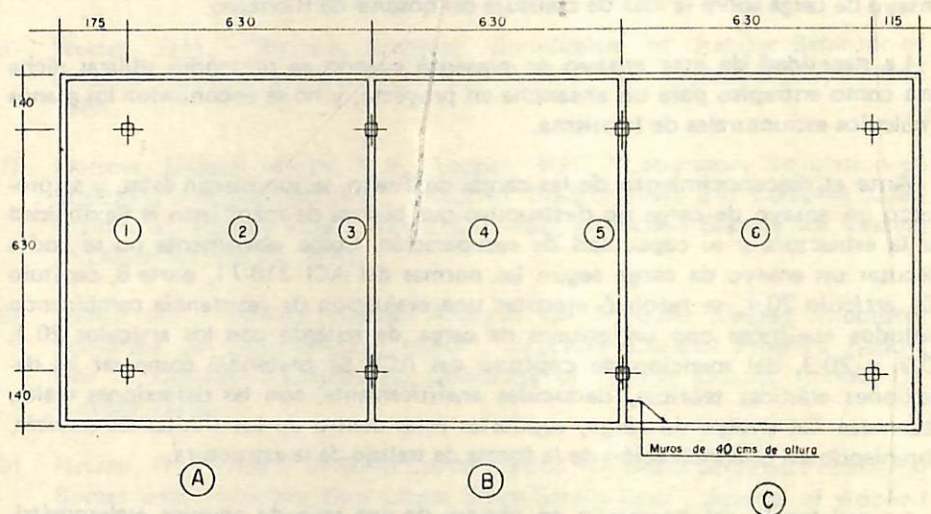
$$R = \frac{4,5328 - Y}{0,00228} = f'c \quad (1)$$

obtenida directamente de la (1), página 52, reemplazando Y por D (diámetro promedio de $\bar{H}$ y $\bar{V}$).

2. DESCRIPCION DEL ENSAYO DE CARGA:

El plano de la losa que se sometió a ensayo lo presentamos en la Fig. 1, en donde se marcan los muros de 40 cm. de altura que se construyeron con el fin de formar

Figura 1



depósitos de agua, la cual constituyó el elemento de carga. El plan de trabajo se estableció así:

- Llenar 10 cm. (100 kgf/mt^2) y esperar 48 horas. Con ésto se pretendían obtener las deflexiones permanentes de la sobrecarga de muros.
- Colocar seis extensómetros mecánicos en los puntos marcados en la Fig. 1.
- Llenar 25 cm. adicionales (250 kgf/mt^2) con el fin de simular la carga de servicio y esperar 24 horas.
- Vaciar hasta los 10 cm. iniciales y volver a leer los extensómetros.

Durante el proceso de llenado se hicieron varias lecturas parciales en los extensómetros, las cuales se presentan en la página 50. En la mañana del 28/III/76 se rompió el tanque C, cuando los niveles en los tanques A y B eran de 28,5 y 33,0 cm. respectivamente. No fue éste el único accidente: durante el proceso de descarga se vaciaron los tanques totalmente, lo cual se consigna en la columna 4 de la página 50. En consecuencia, la recuperación de la losa dejó libres a los extensómetros marcados LL. Sin embargo, juzgamos que con los datos obtenidos se podía correlacionar la deflexión experimental con la deflexión teórica y decidimos no repetir el ensayo. En la página 53 presentamos la evolución de la deflexión de los 6 extensómetros; δ (mm), contra la carga P (cm. de agua) en los cuatro casos de la página 50. En esta página se nota que los extensómetros se colocaron cuando el nivel había alcanzado 11 cm. Cuando la losa se descargó totalmente los extensómetros que no quedaron libres, el (1) y el (5), dieron lecturas de caso (4) que indican una recuperación casi perfecta de la estructura. Las lecturas de los (2) y (4) indican un pequeño atranque de los extensómetros, causados por pequeñas partículas de polvo. Se han marcado con (?).

En general, se presenta en cada gráfico la correlación de la deformación contra la carga P_1 del tanque A, P_2 del tanque B, y P_{pr} (carga promedio de P_1 y P_2).

3. CALCULO ANALITICO DE LA DEFLEXION TEORICA

La teoría de placas elásticas nos proporciona una forma de control de la deformación en función de la carga $P = p(x,y)$ por unidad de área:

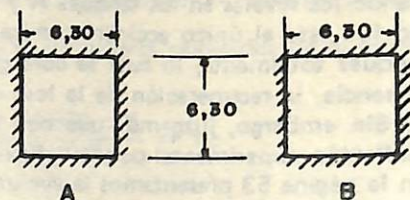
$$\nabla^4 w(x,y) = \frac{p(x,y)}{D} \quad (2)$$

$$\text{donde} \quad D = \frac{E h^3}{12 (1 - \nu^2)} \quad (3)$$

siendo E = módulo del hormigón = $15.100 \times \sqrt{f'c}$
 h = espesor de la placa elástica
 ν = coeficiente de Poisson

Esta ecuación en derivadas parciales puede resolverse para ciertas condiciones de borde por métodos numéricos v.g. diferencias finitas, o métodos de descomposición en series por separación de variables. Algunos autores han elaborado tablas para resolver algunos casos simples. Nosotros hemos empleado a Kalmanok. (Manual para cálculo de placas Prof. Ing. A.S. Kalmanok; traducido del ruso por Romualdo Trujillo, Ingeniero Civil, Editora Inter Ciencia 1961. Montevideo).

Esquemáticamente hemos representado las placas A y B así:



$$P_A = 185 \times 10^{-4} \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_B = 230 \times 10^{-4} \text{ Kg/cm}^2$$

suponiéndolas empotradas en todo el perímetro, en vista de la continuidad de la estructura.

A pesar de que las tablas de Kalmanok fueron deducidas para $\nu = 0,0$ hemos empleado un valor de $\nu = 0,15$ para deducir la cuantía de D. El f'c lo tomamos como de 250 Kg/cm^2 , obteniéndose así:

$$D = 2302 \times 15100 \sqrt{250} = 5,4956 \times 10^8 \text{ Kg/cm}^2 \quad (4)$$

$$\frac{b^4}{D} = \frac{(630 \times 630)^2}{5,4956 \times 10^8} = 286,65$$

Utilizando ahora las tablas de Kalmanok pag. 152 obtenemos

$$\omega = 0,00127 \frac{Pb^4}{D}$$

lo cual nos da, teniendo en cuenta las cargas P_A y P_B , y los valores (4)

$$\omega_A = 0,0067 \text{ cm.}$$

$$\omega_B = 0,0084 \text{ cm.}$$

Estas deformaciones hay que corregirlas debido a la deformación elástica de las vigas perimetrales (Extensómetros (1), (3), (5))

$$\delta'_A = \frac{(1) + (3)}{2} = \frac{0,075 + 0,140}{2} = 0,1075 \text{ cm.}$$

$$\delta'_B = \frac{(3) + (5)}{2} = \frac{0,140 + 0,067}{2} = 0,1035 \text{ cm.}$$

y con la deformación adicional causada por las rotaciones de estas mismas vigas:

$$\delta''_{\text{rot}} = \frac{ML}{8 K_{ec}}$$

donde M es el momento negativo, neto, impuesto:

$$M = M_A^- - M_B^-$$

y K_{ec} es la rigidez a la torsión (1) dada por:

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{K_t}$$

donde

$$K_t = \sum \frac{9 E_c C}{L_2 (1 - c_2/L_2)^3} = \text{rigidez de la losa}$$

$$y \quad K_c = \frac{4 E_c I_c}{L_c} = \text{rigidez de la columna}$$

$$y \quad C = \sum \left(1 - 0,63 \frac{x}{y} \right) \frac{x^3 y}{3}$$

$$L = 630 \text{ cm.}$$

$$c_2 = 30 \text{ cm. (dimensión transversal de la columna)}$$

$$L_2 = \frac{630}{2} + 140 = 455 \text{ cm.}$$

$$E_c = 15100 \sqrt{250} = 238752 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ (módulo elástico del hormigón)}$$

$$x = 30 \text{ cm (espesor de la losa)}$$

$$y = 315 \text{ cm (altura de la faja de columna)}$$

$$L_c = 400 \text{ cm (altura de la columna)}$$

$$I_c = \frac{30^4}{12} = 67500 \text{ cm}^4 \text{ (momento de inercia de la columna)}$$

$$M_A^- = 375,21 \text{ Kf-cm/cm (momento de empotramiento del panel A) }^*$$

$$M_B^- = 466,43 \text{ Kf-cm/cm (momento de empotramiento del panel B) }^*$$

* Sacados de las tablas de Kalmanok

Es preciso tener en cuenta que hay dos lados y que el momento M actúa en un ancho de 455 cm. Se tendrá entonces:

$$\delta''_{\text{rot}} = \frac{2 \times 91,27 \times 630 \times 455}{8 \times 1,5949 \times 10^8} = 0,0410 \text{ cm.}$$

La deformación elástica teórica bajo cargas de servicio daría entonces:

$$\delta_A = \omega_A + \delta'_A - \delta''_{\text{rot}} = 0,0732 \text{ cm.}$$

$$\delta_B = \omega_B + \delta'_B + \delta''_{\text{rot}} = 0,1529 \text{ cm.} \quad (5)$$

Si la placa ha reaccionado en forma elástica, bajo cargas de servicio, las deformaciones reales, medidas en los centros de las placas A y B por los extensómetros (2) y (4) deben de coincidir con los valores (5). Los valores de (2) y (4) son respectivamente, de la página 53.

$$\delta_2 = 0,0610 \text{ cm.}$$

$$\delta_4 = 0,1650 \text{ cm.} \quad (6)$$

En lecturas tan pequeñas, y bajo condiciones de trabajo tan difíciles la concordancia es aceptable.

CONCLUSIONES

La recuperación de los extensómetros, (1) y (5), y la deformación bajo rango elástico, del mismo orden que la teórica, así como los excelentes resultados esclerométricos, nos autorizan a decir que la losa es utilizable, perfectamente, para cargas de servicio del orden de 250 kgf/mt^2 , y para una sobrecarga permanente de 100 kgf/mt^2 .

ENSAYOS HOSPITAL RIONEGRO

- E-1: 1a. Columna interior
 E-2: 2a. Columna interior
 E-3: 1a. Columna exterior
 E-4: 2a. Columna exterior

				f'c
E-1	Escl. de huella:	$\bar{H} = 4,005$	$S_h = 0,235$	251
		$\bar{V} = 3,915$	$S_v = 0,258$	
	Esc. 1/2	$\bar{D} = 3,960$		
	Escl. de golpe:	$\bar{X} = 35,05$	$S_x = 3,426$	
E-2	Escl. de huella:	$\bar{H} = 3,845$	$S_h = 0,274$	337
		$\bar{V} = 3,685$	$S_v = 0,160$	
	Esc. 1/2	$\bar{D} = 3,765$		
	Escl. de golpe:	$X = 35,60$	$S_x = 2,521$	
E-3	Escl. de huella:	$\bar{H} = 3,760$	$S_h = 0,280$	375
		$\bar{V} = 3,595$	$S_v = 0,226$	
	Esc. 1/2	$\bar{D} = 3,678$		
		$\bar{H} = 5,065$	$S_h = 0,235$	
	Esc. 1/1	$\bar{V} = 5,045$	$S_v = 0,287$	
		$\bar{D} = 5,055$		
	Escl. de golpe:	$X = 41,150$	$S_x = 1,954$	
E-4	Escl. de huella:	$\bar{H} = 3,694$	$S_h = 0,293$	360
		$\bar{V} = 3,729$	$S_v = 0,301$	
		$\bar{D} = 3,712$		
		$\bar{H} = 5,030$	$S_h = 0,211$	
	Esc. 1/1	$\bar{V} = 5,070$	$S_v = 0,225$	
		$\bar{D} = 5,050$		
	Escl. de golpe:	$X = 38,650$	$S_x = 3,233$	

(VIGUETAS 2 ϕ 5/8 + 1 ϕ 3/8 - f_y = 40000 psi)

- | | |
|---------------------------------|-----------|
| 1. Llenar 10 cm. | Miércoles |
| 2. Esperar 48 horas | |
| 3. Colocar extensómetro | Viernes |
| 4. Llenar 25 cm. adicionales | |
| 5. Esperar 24 horas | |
| 6. Medir deformaciones y vaciar | Sábado |
| 7. Esperar 24 horas | |
| 8. Medir deformaciones | Domingo |

ENSAYO DE CARGA HOSPITAL RIONEGRO

LECTURA EXTENSOMETROS

Ext. No.	Fecha	26-III-76	27-III-76	27-III-76	28-III-76	29-III-76
	Niveles	11-11-11	20-35-18	24-31,5-19,5	285-33-0	- o -
			Ppr=24,3	Ppr=25,0	Ppr=20,5	
	Hora	8 + 30 P.M.	8 A.M.	5 P.M.	4 + 30 P.M.	4 P.M.
			1	2	3	4
1		1,0	1-2 37	2-1 57	1-2 75	0-1 09
2		1,0	1-2 53	2-1 40	2-1 61	1-2 57 LL*
3		6,0	5 02	5-4 89	4-5 60	6-7 08 LL*
4		6,0	5-6 66	5-4 32	4-5 35	5-4 35 LL*
5		6,0	5-4 84	5-4 82	5-6 33	6-7 33
6		6,0	5-6 26	5-6 52	6-7 25	6-7 25 LL*

*LL: Losa libre.



Foto No. 1

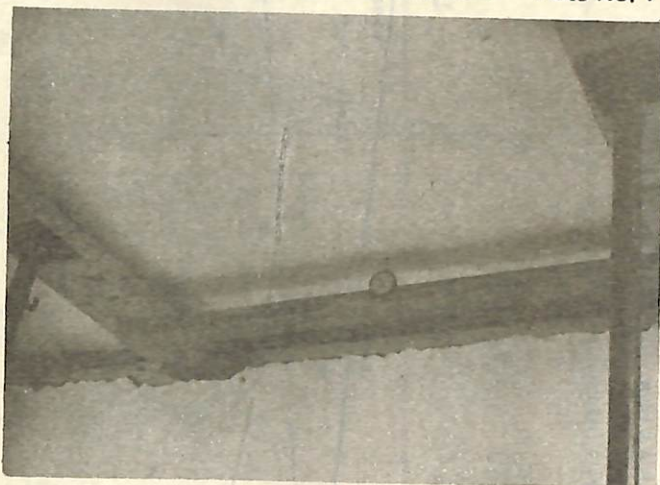


Foto No. 2



Foto No. 3.

