

COMPORTAMIENTO DE UN TECHO ALIGERADO UNIDIRECCIONAL SUJETO A CARGAS VERTICALES

Por: Angel San Bartolomé y Eric Vásquez

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

RESUMEN

Con el propósito de estudiar el aporte de los elementos no estructurales, tales como los bloques de arcilla y el enlucido del cielo raso, se realizaron en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Católica tres pruebas de carga vertical para diferentes condiciones del mismo aligerado unidireccional.

1. INTRODUCCION.

Los bloques de arcilla empleados en la construcción de techos aligerados unidireccionales, son despreciados en el diseño estructural, pero debido al grado de adherencia que se desarrolla entre los bloques de arcilla y el concreto, la sección está compuesta por dos materiales, lo que hace que se incremente la rigidez y la resistencia. Algo similar es lo que ocurre con el enlucido del cielo raso, el que incrementa el peralte del aligerado.

Lo anteriormente mencionado nos lleva a que la rigidez y la resistencia del aligerado sean mayores a las consideradas, lo que nos lleva a diseños conservadores. Por lo que el objetivo del presente trabajo es calcular en forma experimental el aporte del enlucido y de los bloques de arcilla sobre la rigidez del aligerado, así como ver la variación del comportamiento en dos sentidos. La rigidez del aligerado se estimó midiendo las deflexiones en puntos similares para cada ensayo.

2. CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN.

Fig. 1.
Características del aligerado

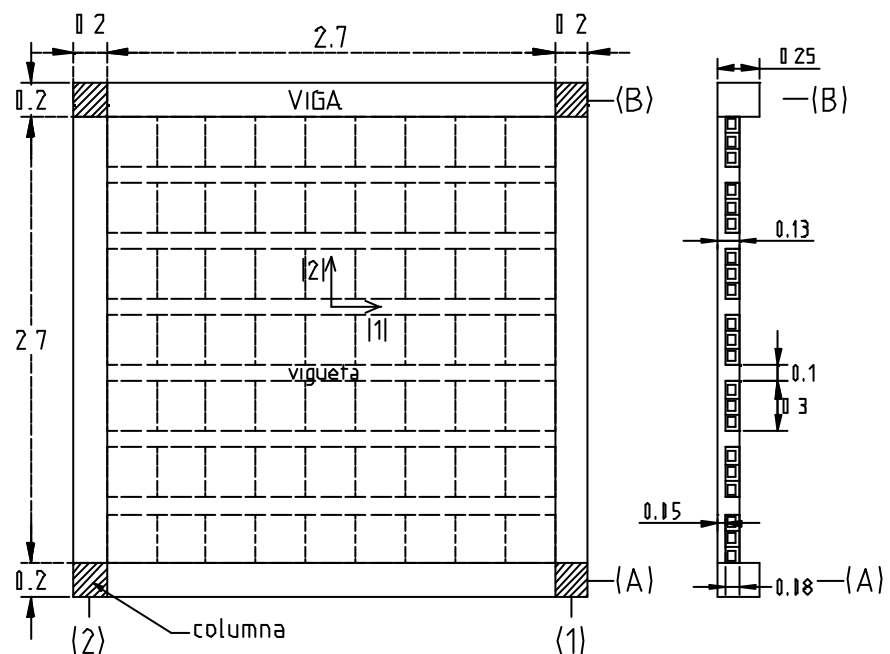
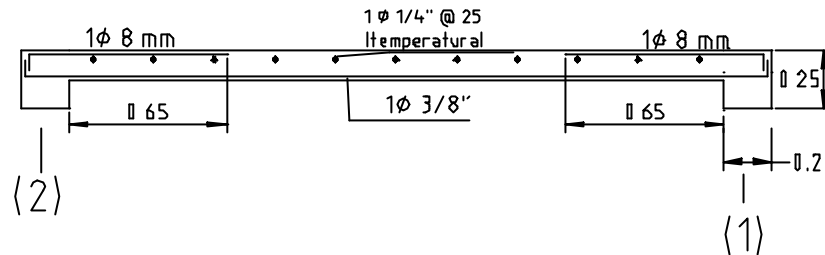


Fig. 2. Refuerzo existente en las viguetas



El espécimen usado en este trabajo es un aligerado unidireccional de un tramo apoyado sobre pórticos de concreto armado, con las características geométricas mostradas en las figuras anteriores, con concreto de $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$ y el acero de $f_y = 4200 \text{ kg / cm}^2$.

Este espécimen perteneció al segundo piso de un módulo aporcado que había sido ensayado a carga sísmica en el trabajo de tesis de maestría del ingeniero Wilson Silva.

3. EVALUACION TEORICA DEL ESPECIMEN.

Se evaluó el comportamiento del aligerado en el rango elástico, por lo que para realizar las tres pruebas de carga vertical fue necesario calcular la capacidad resistente del espécimen, la carga de fisuración y las deflexiones, para determinar la carga de prueba usada. Estos cálculos se hicieron de acuerdo al diseño estructural, es decir considerando las viguetas como simplemente apoyadas.

Se usaron los siguientes parámetros:

- Resistencia a compresión del concreto: $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$
- Esfuerzo de fluencia del acero: $f_y = 4200 \text{ kg / cm}^2$
- Módulo de elasticidad del acero: $E_a = 2E06 \text{ kg / cm}^2$
- Módulo de elasticidad del concreto $E_c = 2.2E05 \text{ kg / cm}^2$
- $n = E_a / E_c = 9$

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

	Carga total por vigueta (kg / m^2)
Carga de Fisuración	275
Capacidad Resistente de la Sección	685
Carga máxima por deflexiones	594

Con lo que la carga de prueba utilizada fue la menor de las tres, que corresponde a la carga de fisuración.

El peso propio del aligerado se halló en forma experimental, mediante el pesaje del espécimen, dando como resultado 219 kg / m^2 para el aligerado de 13 cm de espesor. Por lo que la sobrecarga de prueba utilizada fue:

$$SC = 275 - 219 = 56 \text{ kg / m}^2$$

Para esta sobrecarga de prueba, se determinó que la carga se realizara en tres etapas, utilizando 12 bolsas de 10 kg por etapa, lo que dio una sobrecarga total de 360 kg o lo que es igual una sobrecarga distribuida de 49.38 kg / m²

Utilizando una sobrecarga menor que la de fisuración, buscábamos evitar que se produjeran cambios bruscos en la curva de deflexión vs. carga aplicada, al introducir deflexiones remanentes que hubieran afectado el siguiente ensayo.

Como se verá en el capítulo 5, la sobrecarga final usada en los ensayos fue de 82.3 kg / m², por lo que los cálculos de las deflexiones se realizaron para esta sobrecarga.

La deflexión máxima hallada, asumiendo el aligerado tal como para el diseño estructural fue de 0.55 mm.

También se realizó un análisis por elementos finitos, para verificar las deflexiones y que el esfuerzo máximo no supere la resistencia a tracción por flexión del concreto, así mismo para tener una idea del comportamiento global del aligerado y observar si la losa superior de 5 cm proporcionaba un efecto bidireccional.

La deflexión máxima hallada con el método de elementos finitos fue de 0.11 mm.

Para observar el efecto bidireccional del aligerado, se compararon las deflexiones de las vigas de los ejes 1 y A, obteniendo el siguiente cuadro

VIGA	Deflexión máxima (mm)	Porcentaje (%)
Eje 1	0.0266	100
Eje A	0.0183	68.8

Para calcular el esfuerzo a tracción por flexión, a la sobrecarga de 82.3 kg / m² se le añadió el peso propio del concreto, obteniendo un esfuerzo máximo en la vigueta central de 8.23 kg / cm², el cual es menor que la resistencia a tracción por flexión del concreto, estimada en 29 kg / cm².

La diferencia entre las deflexiones calculadas con el método de elementos finitos y asumiendo al aligerado como para el diseño estructural, se debe a que en el diseño estructural no se considera el efecto hiperestático que proporcionan las vigas y columnas, lo mismo ocurre con el esfuerzo asociado a la fisuración en tracción por flexión de las viguetas.

4. DISPOSITIVOS DE ENSAYO

Para cada ensayo se utilizaron 7 LVDT verticales y uno horizontal, los LVDT verticales midieron las deflexiones absolutas que tenían los puntos, mientras que el LVDT horizontal midió el desplazamiento horizontal relativo entre las viguetas centrales.

Debido a la imposibilidad de contar con más LVDT, se tuvo que aprovechar la simetría del espécimen al optar por la ubicación de los instrumentos, para de este modo obtener la deformada total.

No se pudo colocar un LVDT al centro del aligerado, pues este punto caía sobre un bloque de arcilla, los cuales serían removidos en una de las etapas del trabajo. Por lo que todos los puntos se ubicaron sobre las viguetas, para así tener la misma disposición de los LVDT en las tres pruebas de carga y no incluir alguna variación adicional a la condición del aligerado.

Fig. 3. Ubicación de los LVDT

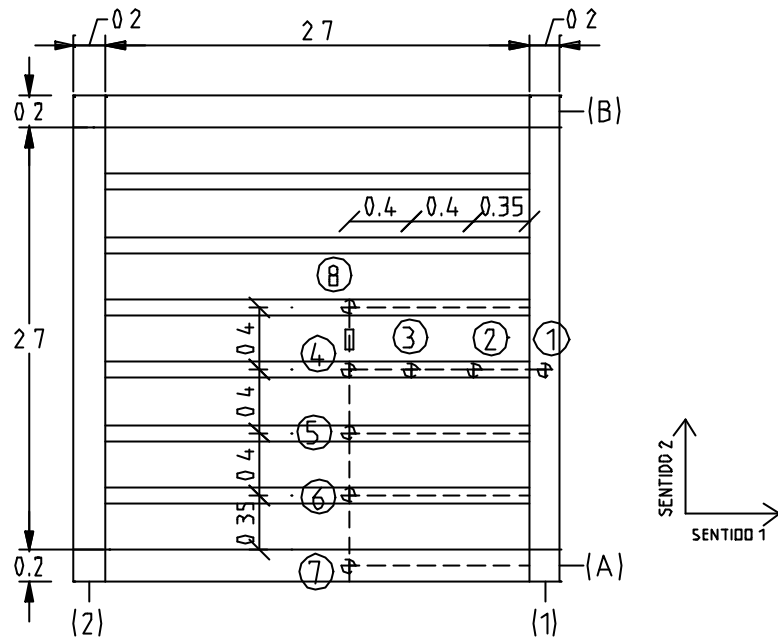


Foto 1. Disposición de los LVDT



5. ENSAYOS

Se realizaron tres pruebas de carga, para distintas condiciones del mismo aligerado:

- Caso 1. Aligerado con bloques de arcilla sin enlucido
- Caso 2. Aligerado con bloques de arcilla y enlucido
- Caso 3. Aligerado sin bloques de arcilla ni enlucido

El ensayo empezaba calibrando los LVDT a cero y la carga se aplicó por etapas, al final se usaron 5 etapas de carga de 120 kg cada una o 16.46 kg / m^2 , lo que dio una carga total de 600 kg o 82.3 kg / m^2 . La carga se aplicó mediante bolsas de 10 kg, por lo que cada etapa consistió de 12 bolsas distribuida en el área del aligerado.

La lectura de los instrumentos se realizaba una vez que se estabilizaban los instrumentos, aproximadamente 3 minutos después de concluida la carga.

En la primera prueba luego de la tercera etapa de carga, supuesta etapa final, al ver que las deflexiones eran muy pequeñas y que no se había llegado a la fisuración, se decidió aumentar a 5 etapas de carga, con lo que se llegó a una carga total de 600 kg o 82.3 kg / m²



Foto 2. Condición del aligerado para el ensayo 1



Foto 3. Condición del aligerado para el ensayo 2



Foto 4. Condición del aligerado para el ensayo 3



Foto 5. Carga del aligerado

6. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Antes de analizar los resultados, se ajustaron las curvas deflexión vs. carga aplicada, pues estas debían ser lineales, ya que la ecuación de la curva elástica esta dada por :

$$d = w (X^4 - 2.L.X^3 + L^3.X) / 24 E.I.$$

El "E" es constante, en cada ensayo "I" es constante y depende de la condición del aligerado, por lo que la deflexión en cada punto depende linealmente de la carga aplicada.

$$d = K.w$$

Los resultados después del ajuste lineal se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados ajustados linealmente

ENSAYO 1 (corregidos)

	Peso Total (kg)	Sobrecarga (Kg / m ²)	Desplazamientos en mm							
			10	20	20	20	20	20	10	10
			1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	120	16,46	0,027	0,045	0,051	0,062	0,065	0,045	0,037	-0,005
2	240	32,92	0,053	0,090	0,102	0,124	0,130	0,090	0,073	-0,004
3	360	49,38	0,080	0,134	0,153	0,186	0,195	0,135	0,110	-0,002
4	480	65,84	0,106	0,179	0,204	0,248	0,261	0,180	0,147	-0,010
5	600	82,30	0,133	0,224	0,255	0,310	0,326	0,225	0,183	-0,023
Descarga	0	0	-0,007	-0,034	-0,068	-0,008	-0,010	0,000	0,064	-0,006

ENSAYO 2 (corregidos)

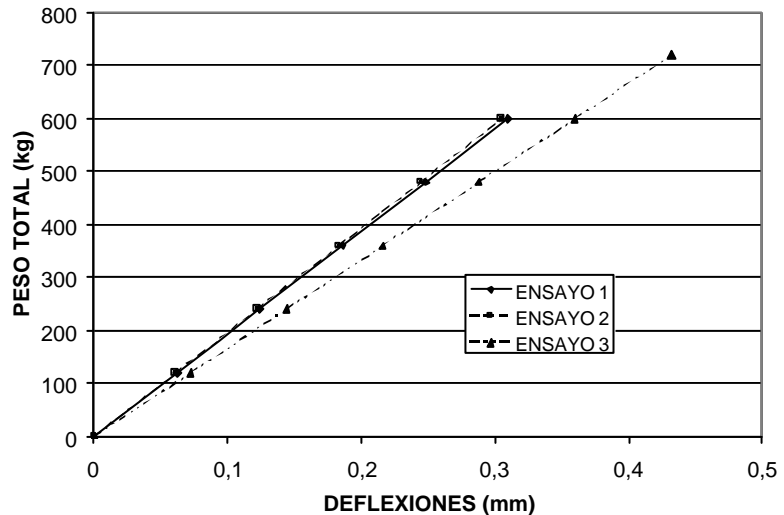
ETAPA	Peso Total (kg)	Sobrecarga (Kg / m ²)	Desplazamientos en mm							
			10	20	20	20	20	20	10	10
			1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	120	16,46	0,033	0,043	0,056	0,061	0,057	0,042	0,029	0,000
2	240	32,92	0,066	0,085	0,111	0,122	0,115	0,083	0,058	0,000
3	360	49,38	0,099	0,128	0,167	0,183	0,172	0,125	0,086	0,000
4	480	65,84	0,132	0,170	0,223	0,244	0,230	0,167	0,115	-0,005
5	600	82,30	0,165	0,213	0,278	0,305	0,287	0,208	0,144	-0,008
Descarga	0	0	0,022	0,034	0,020	0,016	0,026	0,020	0,012	0,011

ENSAYO 3 (corregidos)

ETAPA	Peso Total (kg)	Sobrecarga (Kg / m ²)	Desplazamientos en mm							
			10	20	20	20	20	20	10	10
			1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	120	16,46	0,033	0,052	0,067	0,072	0,073	0,046	0,025	0,000
2	240	32,92	0,066	0,105	0,135	0,144	0,146	0,092	0,050	-0,002
3	360	49,38	0,098	0,157	0,202	0,216	0,218	0,138	0,075	-0,005
4	480	65,84	0,131	0,210	0,269	0,288	0,291	0,184	0,100	-0,009
5	600	82,30	0,164	0,262	0,337	0,360	0,364	0,230	0,126	-0,012
6	720	98,77	0,197	0,315	0,404	0,432	0,437	0,276	0,151	-0,013
Descarga	0	0	0,026	0,026	0,018	0,044	0,026	0,004	0,007	0,005

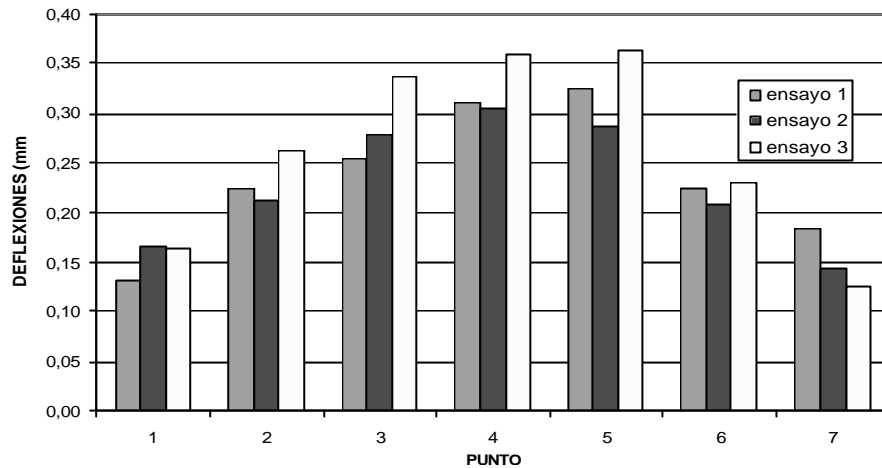
PUNTO 4

Gráfico 1. Punto 4 (ensayo corregido)



El punto 8, que corresponde al LVDT horizontal, no se ha considerado para el análisis de los resultados, debido a la gran variabilidad y a la pequeña magnitud de los valores obtenidos, ya que debido a la precisión del instrumento, estas lecturas no son representativas.

GRAFICO 2. DEFLEXIONES PARA LA CARGA DE 600 KG



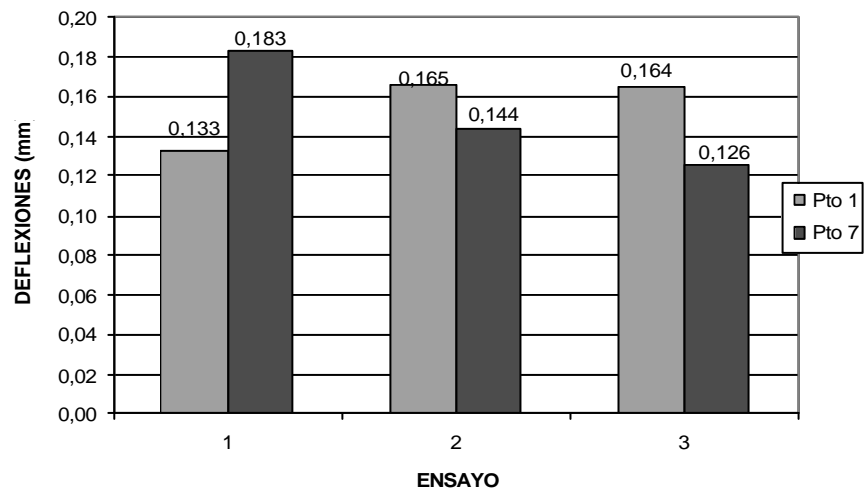
En el gráfico 2, se nota que las mayores deflexiones se dieron en la tercera prueba, en todos los puntos excepto en el punto 7, que corresponde a la viga del sentido secundario, esto se debe a que como este estado presenta un mejor comportamiento unidireccional en comparación con los otros dos, se espera que la carga que llega a esta viga, sea la menor en comparación con las otras dos condiciones del aligerado.

Prueba de Carga	Deflexión en el Pto. 4 (mm)	%
Primera	0.310	86
Segunda	0.305	85
Tercera	0.360	100
Teórica – isostática	0.550	153
Elementos finitos	0.112	31

En este cuadro se puede ver que la deflexión teórica – isostática, usada en el diseño estructural, supera en 53% a la obtenida en el tercer ensayo, esto se debe a que la estructura realmente era hiperestática.

GRAFICO 3. DEFLEXIONES EN LAS VIGAS PARA 600 KG

Ensayo	Pto 1	Pto 7
1	100%	138%
2	100%	87%
3	100%	76%
Elem. Finitos	100%	69%



Para comparar el comportamiento en dos sentidos, se graficaron las deflexiones de las vigas de los ejes 1 y A (gráfico 3). Se nota que el comportamiento del aligerado en ningún caso es unidireccional y el menor comportamiento bidireccional se da en el caso 2.

GRAFICO 4. DEFLEXIONES ABSOLUTAS EN EL SENTIDO 1 PARA 600 KG

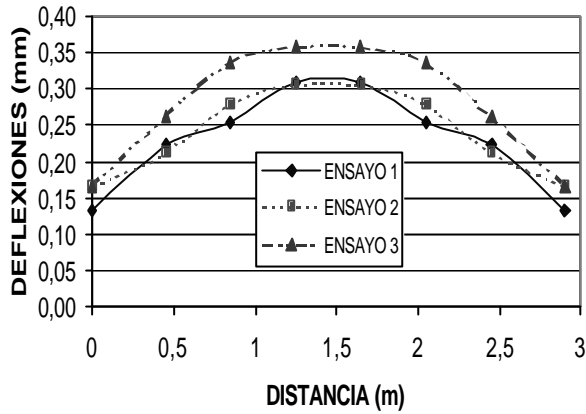
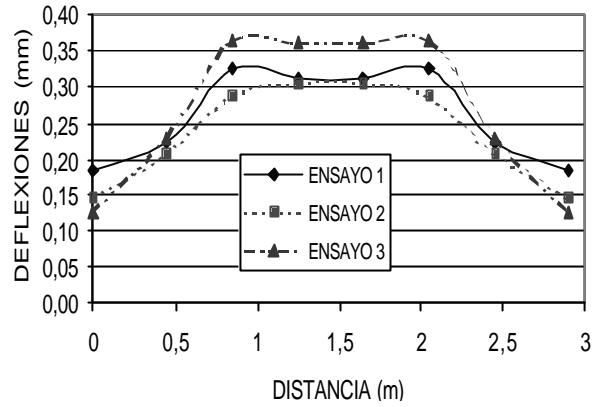


GRAFICO 5. DEFLEXIONES ABSOLUTAS EN EL SENTIDO 2 PARA 600 KG



En los gráficos 4 y 5, se muestran las deformadas de los dos sentidos para la carga final de 600 kg. Se puede notar que las mayores deflexiones se dieron en el caso 3.

GRAFICO 6. COMPORTAMIENTO DEL ALIGERADO EN EL ENSAYO 1 PARA 600 KG

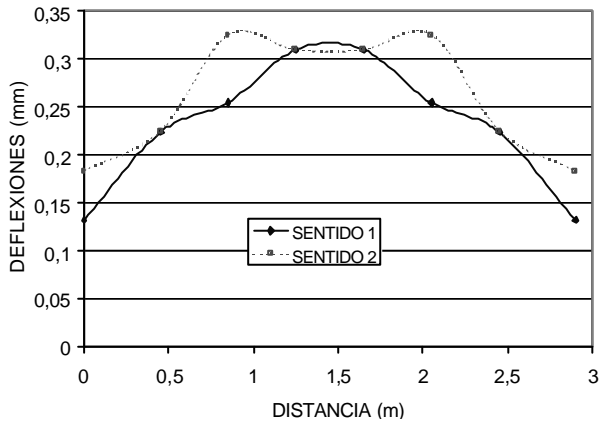


GRAFICO 7. COMPORTAMIENTO DEL ALIGERADO EN EL ENSAYO 2 PARA 600 KG

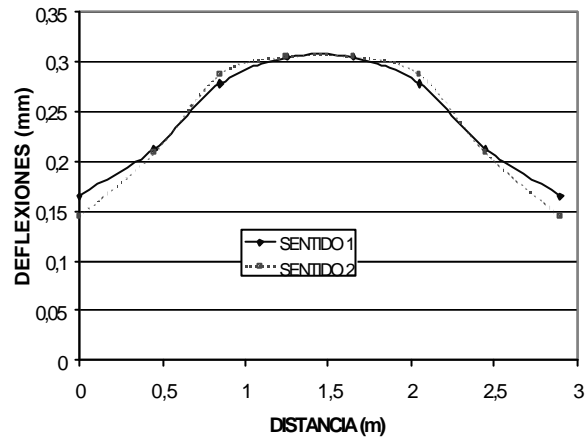
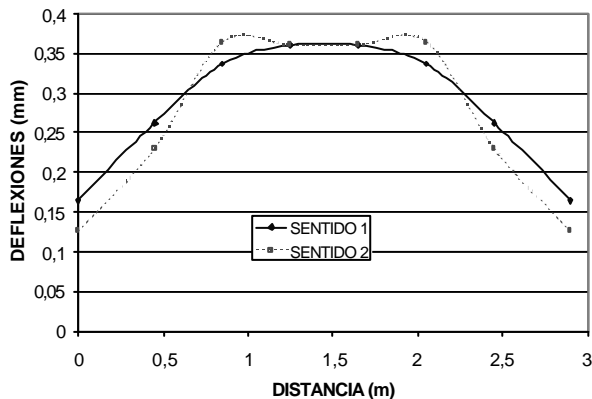
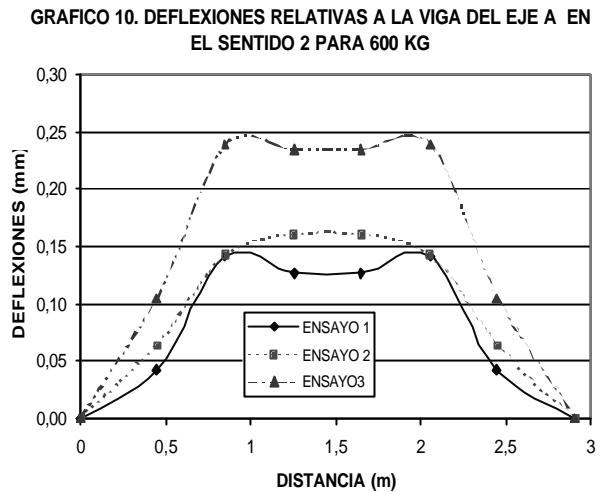
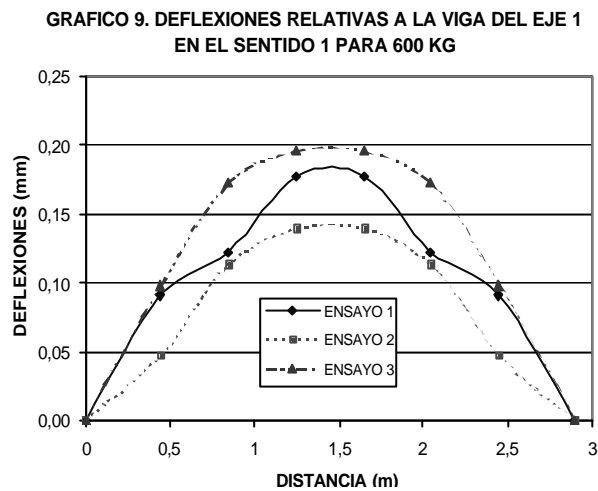


GRAFICO 8. COMPORTAMIENTO DEL ALIGERADO EN EL ENSAYO 3 PARA 600 KG



Otra forma de ver el grado de comportamiento bidireccional, es comparando las deformadas de los dos sentidos para cada ensayo (gráficos 6 a 8). Se puede notar que las mayores semejanzas se dieron en el caso 2.

Para visualizar mejor el comportamiento del aligerado sin considerar el efecto de las vigas, se graficaron las deformadas de las deflexiones relativas a la viga del eje 1 para el sentido 1, y a la viga del eje A para el sentido 2.



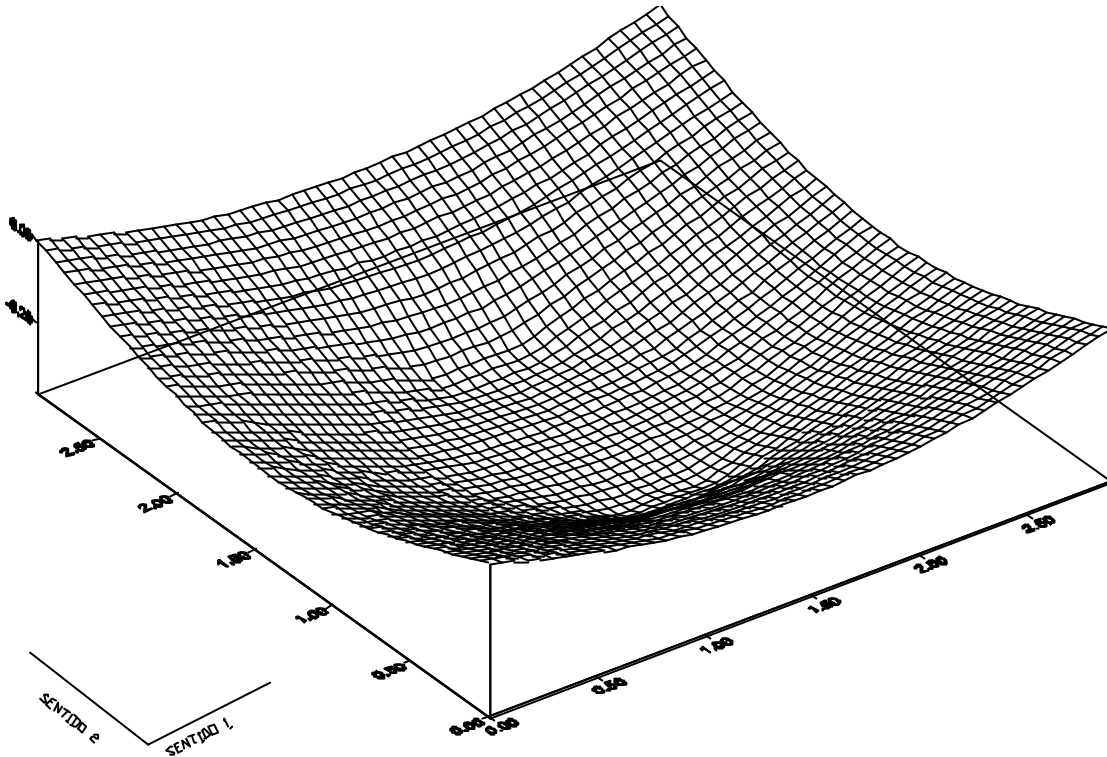
Ensayo	Deflexiones relativas del punto 4			
	A la viga del eje 1 (sentido 1)		A la viga del eje A (sentido 2)	
	Deflex. (mm)	%	Deflex. (mm)	%
1	0.177	91	0.127	54
2	0.140	71	0.161	69
3	0.196	100	0.234	100

Podemos notar que para el sentido 1, las deflexiones relativas son menores para el caso 2 y las deflexiones relativas mayores se dan en el caso 3, conforme a lo esperado.

Si comparamos el sentido 2, se nota que el menor comportamiento bidireccional se dio en el caso 3, presentando esta curva un cambio de pendiente más brusco en los extremos, con una zona plana al centro, lo que implica que las viguetas centrales se comportan casi en forma independiente, lo cual es propio de un comportamiento unidireccional.

Para visualizar en 3 dimensiones la deformada de la superficie del aligerado, se ploteó el gráfico 11, que corresponde a la deformada del caso 3 para la carga de 600kg.

GRAFICO 11. SUPERFICIE DEFORMADA PARA EL ENSAYO 3.



7. CONCLUSIONES GENERALES Y COMENTARIOS.

- Algo que debe tenerse muy presente, es que estos son los resultados obtenidos de un espécimen, no pudiendo generalizarse para cualquier aligerado, ya que el comportamiento en dos sentidos así como la diferencia porcentual de las deflexiones entre una y otra condición del aligerado, va a depender del espesor de éste y de la relación de sus lados.
- En mayor o menor grado, el aligerado presenta un comportamiento bidireccional para las tres condiciones en que fue ensayado
- El menor comportamiento en dos sentidos se dio para el caso 3, correspondiente al aligerado sin bloques ni enlucido, pero incluso así, la deflexión en la viga secundaria fue el 76% de la deflexión de la viga principal. Mientras que el mejor comportamiento bidireccional se obtuvo para el caso 2, correspondiente al aligerado con bloques y enlucido.
- Este comportamiento en dos sentidos hace que haya una diferencia entre la deflexión teórica, calculada despreciando los efectos hiperestáticos tal como para el diseño estructural, y la real del orden del 50%
- Uno de los principales problemas presentados al realizar este trabajo fue la baja carga que se aplicó, ya que esto llevó a deflexiones muy pequeñas del aligerado, con lo que

cualquier error de lectura debido a la sensibilidad de los instrumentos, representa un gran porcentaje de la deflexión real. Y este problema siempre va a existir en trabajos de este tipo, donde no se desea sobrepasar la carga de fisuración.

- El espécimen analizado presenta un buen comportamiento bidireccional debido a que el paño es cuadrado y que la relación entre la losa superior y el peralte de las viguetas es de 5 / 8, ya que se trata de un aligerado de 13 cm de espesor, mientras que esta relación para un aligerado convencional de 17 cm de espesor, es 5 / 12.

BIBLIOGRAFÍA

1. Diseño de Estructuras de Concreto, Arthur H. Nilson, Mc Graw Hill, Santafé de Bogota – Colombia, 1999.
2. Normas Peruanas de Estructuras, Norma E-060 “Concreto Armado” – ININVI – 1989.
3. Comportamiento Sísmico de una Estructura Aperticada de Dos Pisos Hecha de Concreto Armado, a Escala Reducida (3/4), Wilson Edgar Silva Berrios, Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú.
4. Construcciones de Albañilería – Comportamiento Sísmico y diseño Estructura, IAngel San Bartolomé, Fondo editorial de la Católica, Lima – Perú, 1998.
5. Tutorial Manuals – Sap 2000. Computer and Structures, Inc, Berkley, California, Usa – 1999.