

01197

3404

54



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DEL DOCTORADO



COEFICIENTES DE DISTRIBUCION  
PARA LOSAS PLANAS DE  
CONCRETO REFORZADO

Tesis que para obtener el Grado de  
Maestro en Ingeniería (Estructuras)  
presenta

OSCAR MANUEL GONZALEZ CUEVAS

MEXICO, D. F.  
1963

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

# CONTENIDO

	Págs.
INDICE DE TABLAS	i
INDICE DE FIGURAS	vi
<b>I. <u>INTRODUCCION Y OBJETO</u></b>	<b>1</b>
1. Introducción	i
2. Agradecimiento	2
<b>II. <u>ENSAYES ESTUDIADOS</u></b>	<b>3</b>
1. Edificio Daere and Webber	3
2. Edificio Shredded Wheat Factory	7
3. Edificio Schulze Baking Company	9
4. Losa experimental Worcester	11
5. Edificio Curtis-Leger Company	12
6. Edificio Western Newspaper Union	14
7. Edificio Sanitary Can	15
8. Edificio Shank	16
9. Bodega Bell Street	17
10. Ensaye de Purdue. Losa J	18
11. Ensaye de Purdue. Losa S	19
12. Losa plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois	20
13. Placa plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois	25
<b>III. <u>PROPOSICION DE COEFICIENTES DE DISTRIBUCION</u></b>	<b>27</b>
1. Tablero interior	27
2. Tablero de borde paralelo a una viga rígida	28
3. Tablero de borde paralelo a una viga flexible	29
4. Tablero de borde perpendicular a una viga rígida	30
5. Tablero de borde perpendicular a una viga flexible	30
6. Tablero de esquina (vigas de borde rígidas)	31
7. Tablero de esquina (vigas de borde flexibles)	32
<b>IV. <u>RECOMENDACIONES TENTATIVAS PARA DISEÑO</u></b>	<b>33</b>
1. Momento total	33
2. Coeficientes de distribución del momento total	33
3. Limitaciones	35
<b>V. <u>REFERENCIAS</u></b>	<b>38</b>

## INDICE DE TABLAS

		Pag
1.	Edificio Deere and Webber. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la zona 1	40
2.	Edificio Deere and Webber. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la zona 2	41
3.	Edificio Deere and Webber. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la zona 4	41
4.	Edificio Deere and Webber. Momentos en $\text{kg} \cdot \text{m}$ para diferentes etapas de carga	42
5.	Edificio Deere and Webber. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga	43
6.	Edificio Shredded Wheat Factory. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la zona 4	44
7.	Edificio Shredded Wheat Factory. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la zona 3	44
8.	Edificio Shredded Wheat Factory. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la zona 2	45
9.	Edificio Shredded Wheat Factory. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la zona 1	45
10.	Edificio Shredded Wheat Factory. Momentos en $\text{kg} \cdot \text{m}$ para diferentes etapas de carga	46
11.	Edificio Shredded Wheat Factory. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga	46
12.	Edificio Schulze Baking Company. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la zona 1, banda diagonal	47
13.	Edificio Schulze Baking Company. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la zona 3, claro largo	47
14.	Edificio Schulze Baking Company. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la zona 4, banda diagonal	48
15.	Edificio Schulze Baking Company. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la zona 4, banda rectangular	48
16.	Edificio Schulze Baking Company. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la zona 2, banda rectangular	48

	Pag.
17. Edificio Schulze Baking Company. Momentos en kg = m, para diferentes etapas de carga	49
18. Edificio Schulze Baking Company. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga	49
19. Edificio Curtis=Leger Company. Esfuerzos en kg/cm <sup>2</sup> en la zona 4	50
20. Edificio Curtis=Leger Company. Esfuerzos en kg/cm <sup>2</sup> en la zona 1	50
21. Edificio Curtis=Leger Company. Esfuerzos en kg/cm <sup>2</sup> en la zona 2	50
22. Edificio Curtis=Leger Company. Momentos en kg = m para diferentes etapas de carga	51
23. Edificio Curtis=Leger Company. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga	51
24. Edificio Western Newspaper Union. Momentos en kg = m para diferentes etapas de carga	52
25. Edificio Western Newspaper Union. Valores del coeficiente $M_0/VL(1 - \frac{2c}{L})^2$	52
26. Edificio Western Newspaper Union. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga	52
27. Edificio Sanitary Can. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga	53
28. Edificio Shank. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga	53
29. Bodega Bell Street. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga	54
30. Ensayo de Purdue, Losa J. Esfuerzos en kg/cm <sup>2</sup> en la franja de columnas perpendicular a la viga de borde (tablero exterior)	54
31. Ensayo de Purdue, Losa J. Esfuerzos en kg/cm <sup>2</sup> en la franja central del tablero exterior, (perpendicular al borde)	54
32. Ensayo de Purdue, Losa J. Esfuerzos en kg/cm <sup>2</sup> en la franja adyacente al borde del tablero exterior (paralela a la viga de borde)	55

	Pág.
33. Ensaye de Purdue, Losa J. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la franja de columnas del tablero interior	53
34. Ensaye de Purdue, Losa J. Esfuerzos en $\text{kg}/\text{cm}^2$ en la franja central del tablero interior	55
35. Ensaye de Purdue, Losa J. Momentos en $\text{kg} \cdot \text{m}$ para diferentes etapas de carga. Tablero interior	56
36. Ensaye de Purdue, Losa J. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga. Tablero interior	56
37. Ensaye de Purdue, Losa J. Momentos en $\text{kg} \cdot \text{m}$ para diferentes etapas de carga. Tablero de borde, dirección perpendicular al borde	57
38. Ensaye de Purdue, Losa J. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga. Tablero de borde, dirección perpendicular al borde	57
39. Ensaye de Purdue, Losa S. Momentos en $\text{kg} \cdot \text{m}$	58
40. Ensaye de Purdue, Losa S. Porcentajes del momento total	58
41. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en $\text{kg} \cdot \text{m}$ en el tablero interior	58
42. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos en $\text{kg} \cdot \text{m}$ en el tablero interior	59
43. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Coeficientes de distribución en el tablero interior	59
44. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en el tablero F paralelo a la viga rígida	60
45. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en el tablero B paralelo a la viga flexible	60
46. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en el tablero F perpendicular a la viga rígida	60
47. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en el tablero B perpendicular a la viga flexible	60
48. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en el tablero S (tablero de esquina)	61

	Pág.
49. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en el tablero A (tablero de esquina)	61
50. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde paralelo a la viga rígida. Momentos en $kg \cdot m$ para diferentes etapas de carga	61
51. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde paralelo a la viga rígida. Coeficientes de distribución del momento total	62
52. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde paralelo a la viga rígida. Momentos en $kg \cdot m$ para diferentes etapas de carga	62
53. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde paralelo a la viga flexible. Coeficientes de distribución del momento total	63
54. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde perpendicular a la viga rígida. Momentos en $kg \cdot m$ para diferentes etapas de carga	63
55. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde perpendicular a la viga rígida. Coeficientes de distribución del momento total	64
56. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde perpendicular a la viga flexible. Momentos en $kg \cdot m$ para diferentes etapas de carga	64
57. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde perpendicular a la viga flexible. Coeficientes de distribución del momento total	65
58. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de esquina adyacente a las vigas rígidas. Momentos en $kg \cdot m$ para diferentes etapas de carga	65
59. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de esquina adyacente a las vigas rígidas. Coeficientes de distribución del momento total	66
60. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de esquina adyacente a las vigas flexibles. Momentos en $kg \cdot m$ para diferentes etapas de carga	67

	Pág.
61. Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de esquina adyacente a las vigas flexibles. Coeficientes de distribución del momento total	68
62. Placa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Coeficientes de distribución del momento total	68

## INDICE DE FIGURAS

		Pag.
1.	Clave para interpretar las tablas y las figuras	69
2.	Edificio Deere and Webber	70
3.	Edificio Shredded Wheat Factory	70
4.	Edificio Schutze Baking Company	71
5.	Edificio Curtis Leger	71
6.	Edificio Western Newspaper Union	72
7.	Edificio Sanitary Can	72
8.	Edificio Shank	72
9.	Bodega Bell Street	72
10A	Losa J	73
10B	Losa J	73
11.	Losa S	73
12A	Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero interior	74
12B	Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero paralelo a la viga rígida	75
12C	Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero paralelo a la viga flexible	75
12D	Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero perpendicular a la viga rígida	76
12E	Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero perpendicular a la viga flexible	76
12F	Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de esquina adyacente a las vigas rígidas	77
12G	Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de esquina adyacente a las vigas flexibles	78
13.	Coefficientes de distribución propuestos	79

## I. INTRODUCCION Y OBJETO

### I. Introducción

Las placas y losas planas se han usado ampliamente sin que hasta la fecha se tenga un método preciso para diseñarlas. En 1914, J.R. Nichols<sup>(1)</sup> presentó un método estático de análisis que proporcionaba la suma de los momentos positivo y negativo que ~~se desarro-~~ llaban a lo largo de la línea central de un tablero y a lo largo de la línea <sup>recta</sup> que une las columnas. A esta suma se ~~le~~ denominó el momento (total) estático. En su análisis, Nichols supuso que se trataba de un tablero interior con carga uniformemente repartida, rodeado de un número infinito de tableros con la misma carga y que los capiteles de las columnas eran circulares. ~~La~~ expresión encontrada por Nichols es:

$$M = \frac{wL^3}{8} \left[ 1 - \frac{4c}{7L} - \frac{1}{3} \left( \frac{c}{L} \right)^3 \right]$$

la cual aproximó por:

$$M = \frac{WL}{8} \left( 1 - \frac{2}{3} \frac{c}{L} \right)$$

En estas fórmulas, W es la carga total en el tablero, L es el claro centro a centro de columnas, c es el diámetro del capitel de la columna. Posteriormente, en 1917, la ASCE redujo el coeficiente 0.125 encontrado por Nichols a 0.107; y en 1921 el Joint Committee lo redujo hasta el ~~valor~~ de 0.09 que aparece en las actuales especificaciones del ACI<sup>(2)</sup>.

Westergaard<sup>(4)</sup>, mediante el análisis elástico de una losa homogénea, obtuvo la manera en que se ~~distribuyó~~ <sup>distribuye</sup> el momento total en franjas en que se dividió arbitrariamente la losa llamadas franja central y franja de columnas; estas franjas se representan en la

Fig. 1. Basándose en este estudio, el ACI presenta en su código de especificaciones<sup>(2)</sup> los coeficientes de distribución del momento total para los franjos de que se ha hablado, tanto en tableros interiores como de borde y de esquina.

En el presente trabajo se analizan diversos ensayos realizados hasta la fecha en lasas y placas planas, con objeto de comparar los resultados obtenidos con los de Nichols y Westergaard, y proponer nuevos coeficientes de distribución.

## 2. Agradecimiento

Esta tesis fue elaborada bajo la dirección del Dr. Roger Díaz de Cossío, Jefe de la División del Doctorado de la Facultad de Ingeniería, a quien se agradecen sus valiosos consejos y atinadas observaciones.

## II. ENSAYES ESTUDIADOS

### 3. Edificio Deare and Webber<sup>(3)</sup>

a) Descripción. Edificio de 11 pisos construido en Minneapolis, Minnesota, en el año de 1911, empleando losas planas con refuerzo en cuatro direcciones y sin ábaco; el grosor de la losa era 23.3 cm; fue diseñada para una carga viva de  $1100 \text{ Kg/m}^2$  y construida con un concreto de proporción 1-2-4. La prueba se realizó en el cuarto piso cargando 8 tableros interiores rectangulares de 5.65 m por 6.02 m. El porcentaje de refuerzo era el mismo en dirección del claro largo y en dirección del claro corto; el procedimiento de armado que se siguió no preveda refuerzo para resistir el momento negativo en la franja central. La losa ensayada presentaba un número elevado de juntas de construcción.

b) Procedimiento de prueba y método de medición. Se trazaron líneas en los sitios donde se iban a medir las deformaciones. Se hicieron pequeñas perforaciones en el concreto hasta que el acero de refuerzo quedara al descubierto o hasta que se pudiese insertar una clavija de metal, según que se tratase de medir la deformación del acero o del concreto, respectivamente. La distancia entre dos perforaciones fue la longitud de medición (38.1 cm para el acero y de 15.2 cm para el concreto). En las perforaciones mencionadas se colocaba un extensómetro que permitía medir las deformaciones al cargar la losa; se usó un extensómetro Berry modificado. Debido a que los cambios de temperatura producían una variación en la longitud del extensómetro, a veces tan grande como la que producían las cargas en el refuerzo, fue necesario hacer observaciones en una barra libre de esfuerzos llamada barra estándar para conocer los cambios de longitud por temperatura, ésta fue embebida en yeso y colocada sobre el piso en que se realizaba la prueba, para que su cambio de longi

tud por variación de temperatura fuese igual al de la barra donde se medían los esfuerzos

El error en la magnitud del esfuerzo en el acero debido a la imperfección del extensómetro era aproximadamente de 0.25 por ciento. Este valor es muy pequeño comparado con el error que se cometía al leer las deformaciones. Para conocer la precisión de los resultados se hicieron lecturas por dos observadores en las mismas líneas de medición; los esfuerzos calculados de las deformaciones leídas por cada uno de ellos variaban en unos  $70 \text{ Kg/cm}^2$ . Si las lecturas eran repetidas cinco veces y tomadas con especial cuidado, en unos  $14 \text{ Kg/cm}^2$ .

Para cargar la losa se usaron ladrillos al principio y bolsas de cemento en las últimas etapas. Se tuvo cuidado en evitar la acción de arco en la carga y se dejaron pequeñas aberturas descargadas para poder realizar las medidas en la parte superior de la losa. Se hicieron lecturas de deformaciones en el concreto, en el acero, y de deflexiones, a incrementos de carga de  $367 \text{ Kg/m}^2$ , hasta alcanzar una carga de  $1710 \text{ Kg/m}^2$ . Casi todas las medidas de deformaciones se hicieron en un solo tablero, que estaba rodeado por siete tableros cargados en todas direcciones menos una. En tres de los siete tableros se hicieron lecturas aisladas.

c) Resultados condensados. En las Tablas 1 - 3, se presentan para cada etapa de carga, los esfuerzos obtenidos multiplicando las deformaciones unitarias medidas en varias barras de cada banda de refuerzo por el módulo de elasticidad del acero que se supuso igual a  $2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ . A estos esfuerzos se les denominará en lo sucesivo observados. Los esfuerzos mostrados en las tablas corresponden a la dirección del claro largo. En dirección del claro corto se hicieron muy pocas medidas. Las deformaciones resultaron prácticamente iguales a las del claro largo, que era de esperarse ya que la diferencia

de longitud entre ambos claros es muy pequeña. Los esfuerzos no incluyen los debidos al peso propio de la losa.

d) Discusión de resultados. Los esfuerzos observados resultan muy pequeñas, sobre todo para el refuerzo positivo, no obstante que la carga de  $1710 \text{ Kg/m}^2$  es mayor que la de diseño, incluido el peso propio. Los momentos resistentes de la losa calculados a partir de estos esfuerzos, no son iguales a los momentos externos, pues en numerosos ensayos se ha podido comprobar que existe una diferencia entre los esfuerzos observados y los calculados de acuerdo con el momento externo. La relación que existe entre los esfuerzos obtenidos de estas dos maneras, es la misma que existe entre los momentos internos y externos. Una de las principales causas por la que sucede esto, estriba en que el concreto contribuye a resistir los esfuerzos de tensión, especialmente antes de agrietarse. Después de agrietarse, el concreto entre grieta y grieta sigue contribuyendo a resistir la tensión, de tal manera que el promedio de deformación unitaria a lo largo de la línea de medición, es menor que la máxima deformación unitaria, y de la misma manera, el esfuerzo promedio a lo largo de la línea de medición es menor que el máximo esfuerzo. Lo anterior se ha podido comprobar observando que la diferencia entre los esfuerzos observados y los calculados era mayor mientras menores eran los esfuerzos, es decir, mientras menos agrietado estaba el concreto.

Para poder establecer una relación entre los esfuerzos observados y los calculados, el Technologic Branch of the United States Geological Survey ensayó 84 vigas libremente apoyadas de concreto reforzado, con porcentajes de refuerzo que variaron de 0.0049 a 0.0212, y con 4 diferentes clases de agregado; se pudo observar que mientras menor era el porcentaje de refuerzo, mayor era la diferencia entre los esfuerzos observados y los

calculados. De esta manera se obtuvieron gráficas que relacionaban ambos esfuerzos en función del porcentaje de refuerzo y de la clase de agregado del concreto<sup>4</sup>.

En las Tablas 1, 2 y 3 se presentan los esfuerzos corregidos por medio de las gráficas que se acaban de mencionar. Se puede ver que los esfuerzos corregidos alcanzan valores muy altos. En el reporte de esta prueba<sup>3</sup> no se menciona el valor del límite de fluencia del acero de refuerzo, y en las tablas anteriores se ha supuesto igual a  $2100 \text{ Kg/cm}^2$ , tomando este valor como promedio cuando los esfuerzos corregidos lo sobrepasan. En la Tabla 4 se presentan los momentos calculados de acuerdo con los esfuerzos corregidos y se compara el momento total para las distintas etapas de carga con el obtenido de acuerdo con el Reglamento ACI y con el obtenido aplicando la fórmula de Nichols; los momentos últimos resistentes se calcularon por medio de la fórmula de Whitney<sup>6</sup>.

En la Tabla 5 se presentan los porcentajes del momento total que corresponden a las distintas secciones de la losa y se comparan con las que especifica el ACI. En la Tabla 4 es posible ver que el coeficiente

$$M_0/WL(1 - \frac{2}{3} \frac{c}{L})^2$$

no se mantiene constante al aumentar la carga, es en general, mayor mientras menor es la carga. Esto indica que las correcciones de que se ha hablado son demasiado grandes cuando los esfuerzos son pequeños. La razón puede ser la siguiente: en las gráficas de correcciones<sup>4</sup> se puede ver que éstas son mayores cuando el concreto todavía no se ha agrietado, es decir, cuando los esfuerzos en el acero son pequeños. Los esfuerzos a partir de los cuales se han calculado los momentos no incluyen el efecto del peso propio según se ha dicho; entonces los esfuerzos reales en el acero son mayores y por tanto las correcciones deben ser menores, aunque no se puede saber en cuanto exactamente. Debido a esto los resultados que se han obtenido serán

mas parecidos a los reales mientras mayores sean las cargas, ya que entonces influye menos el peso propio de la losa. Se puede ver que para la máxima intensidad de carga el momento total es muy parecido al obtenido con la fórmula de Nichols. También se observa que para las tres últimas etapas de carga los coeficientes de distribución varían muy poco y los porcentajes totales de momento negativo y momento positivo son casi iguales a los recomendados por el ACI. La falta de refuerzo negativo en la franja central fue causa de que la losa se agrietara en esta zona, y ocurrió una redistribución de momentos hacia la zona de momentos positivos. Esto se infiere del rápido aumento en los coeficientes de distribución de estos momentos entre la segunda y la tercera etapa de carga, y de una disminución en el coeficiente de momento negativo; al ocurrir esto, el acero positivo de ambas franjas alcanzó el límite de fluencia supuesto, y tuvo lugar una nueva redistribución de momentos hacia la franja de columnas de momento negativo.

Otro aspecto importante que debe tomarse en cuenta al interpretar esta prueba es la contribución de los tableros vecinos a los cargados, que resisten parte de la carga aplicada. Considerando esto, el momento total sería aún más parecido al que predice la fórmula de Nichols.

En la Fig. 2 se presentan gráficamente los resultados de esta prueba.

#### 4. Edificio Shredded Wheat Factory<sup>(5)</sup>

a) Descripción. Edificio de tres pisos con losa plana reforzada en dos direcciones; los tableros eran de 6.10 m x 6.70 m, con abacos cuadrados de 2.58 m de lado. La losa se diseñó para una carga viva de 611 Kg/m<sup>2</sup>, por la Corrugated Bar Company, basándose en un estudio realizado por Teeleuse en una pequeña losa de hule; las columnas inte-

riores poseían un capitel en forma de pirámide octagonal de 1.07 m de diámetro interior, y las caras laterales tenían una inclinación de  $45^{\circ}$  respecto a la horizontal. El espesor nominal de la losa era de 17.8 cm y el del ábaco 22.8 cm, pero numerosas medidas indicaron un espesor promedio de 18.5 cm para la losa y 23.2 cm para el ábaco. Las distancias promedio medidas entre el borde de la zona de compresión del concreto y el centro de gravedad del refuerzo fueron 17.3 cm y 12.6 cm para el refuerzo negativo en el ábaco y en la losa respectivamente, y 15.6 cm para el refuerzo positivo. Al preparar el concreto se hicieron 4 cilindros de prueba los cuales dieron una resistencia promedio de  $246 \text{ Kg/cm}^2$  a una edad de 115 días.

b) Procedimiento de prueba y método de medición. Se hicieron 137 medidas de deformación en el refuerzo y 151 en el concreto; se cargaron 9 tableros. La mayor parte de las medidas se tomaron en el tablero central, en los demás únicamente medidas aisladas de comprobación. Como material de carga se usó grava. Se hicieron lecturas de las deformaciones para cargas de 274, 589 y  $935 \text{ Kg/m}^2$ ; la carga de  $935 \text{ Kg/m}^2$  se mantuvo durante dos días y medio; después se descargaron las dos filas exteriores de tableros quedando cargada únicamente la fila central. Por último se descargaron los tableros exteriores de esta fila y se aumentó la carga del tablero central a  $1190 \text{ Kg/m}^2$ . Para medir las deformaciones se siguió el mismo método descrito en la prueba anterior.

c) Resultados condensados. En las Tablas 6 - 9 se presentan los esfuerzos observados y los corregidos en el acero de refuerzo, al cual se le supuso un módulo de elasticidad de  $2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$  ya que en el reporte de la prueba no se da su valor. Para las cargas de 274 y  $589 \text{ Kg/m}^2$  se reportan muy pocas medidas y por eso en las Tablas aparecen en blanco los esfuerzos correspondientes. Todos los esfuerzos corresponden al

claro largo.

d) Discusión. En las tablas 10 y 11 se presentan los momentos y los coeficientes de distribución. Estos últimos no se pudieron obtener para las dos primeras etapas de carga por falta de datos; para la tercera etapa, carga uniforme de  $935 \text{ kg/m}^2$  sobre los 9 tableros, la mayor diferencia entre los coeficientes obtenidos y los del ACI se presenta en la franja de columnas de momento positivo. Es posible que hubiese ocurrido una redistribución de momentos positivos hacia esa franja, pues observando los esfuerzos se nota que en la franja central el refuerzo positivo se plastificó desde la primera etapa de carga y el refuerzo negativo en la franja central ya se había plastificado en la tercera etapa. El coeficiente de distribución de la franja de columnas de momento negativo es bastante menor que el correspondiente del ACI sin que se encuentre ninguna causa de ello.

Se puede ver que de las distintas disposiciones de carga usadas, la más desfavorable para momento negativo es aquella en que se encuentran cargados todos los tableros, y para momento positivo aquella en que se encuentra cargado un solo tablero, aunque las diferencias en los coeficientes de distribución son pequeñas.

En la Fig. 3 se presentan gráficamente los resultados de esta prueba.

## 5. Edificio Schulze Baking Company <sup>(5)</sup>

a) Descripción. Edificio de 5 pisos con tableros rectangulares de 6.09 m por 5.32 m y ábacos cuadrados de 2.13 m de lado, diseñado para una carga viva de  $1465 \text{ Kg/m}^2$ . El espesor de la losa era de 22.8 cm y el de los ábacos 35.5 cm. La prueba se realizó en el segundo piso, debajo del cual las columnas eran circulares con 71 cm de diámetro y terminaban en capiteles octagonales en forma de campana que tenían 1.37 m de diámetro interior. Se empleó refuerzo en cuatro direcciones y para resistir el momento

negativo en la franja central, se colocaron bastones de  $3/8"$  de diámetro y 2.74 m de largo separados 30.5 cm entre sí. Numerosas medidas indicaron un paralte efectivo promedio de 25.8 cm para el refuerzo negativo en la franja de columnas y de 19 cm para el refuerzo negativo en la franja central y para el refuerzo positivo.

b) Procedimiento de prueba y método de medición. Se tomaron 123 medidas de deformación en el acero de refuerzo, 82 en el concreto de la losa y 58 en el concreto de las columnas. Se cargaron cuatro tableros interiores con ladrillos. La carga máxima fue de  $3530 \text{ Kg/m}^2$ , pero solo se alcanzó en los tableros del lado sur, pues una deficiencia en el abastecimiento de material fue causa de que en los tableros norte solo se alcanzara una carga de  $2130 \text{ kg/m}^2$ . Esta carga se colocó de manera que produciese un fuerte momento flexionante, y se estima que los momentos en los tableros cargados no son menores que el 90% de los momentos que se hubiesen alcanzado si todos los tableros se hubiesen cargado con  $3530 \text{ kg/m}^2$ . Para medir las deformaciones se siguió el procedimiento ya descrito. Casi todas las deformaciones medidas en el refuerzo negativo se tomaron en la columna central. No se hicieron medidas en la franja central de momento negativo en dirección del claro corto.

c) Resultados condensados. En las Tablas 12 a 16 se presentan los esfuerzos observados y los corregidos de la manera ya mencionada; el módulo de elasticidad del acero de refuerzo no se menciona en el reporte de la prueba y se supone igual a  $2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ .

d) Discusión. En las Tablas 17 y 18 se presentan los momentos calculados a partir de los esfuerzos corregidos y los coeficientes de distribución; ambos corresponden a la dirección del claro largo. En dirección del claro corto no se pueden obtener por no

reportarse las deformaciones de la franja central de momento negativo.

Estudiando los coeficientes de distribución se observa que varían al ir aumentando la carga. Desde luego algunos de los valores reportados no son de confianza como en el caso del refuerzo negativo de la franja central para las dos primeras etapas de carga, en que los esfuerzos disminuyeron al aumentar esta. La diferencia que se observa entre el coeficiente de distribución para esta franja y el correspondiente del ACI se debe al poco porcentaje del refuerzo correspondiente, que fue causa de que esta sección desarrollase su máximo momento resistente desde las primeras etapas de carga. Otra diferencia que se puede observar se presenta en la franja central de momento positivo para la última etapa de carga, pero posiblemente se deba a que ocurrió una redistribución de momentos hacia esta franja desde la franja de columnas de momento positivo que ya se había plastificado como puede verse en la tabla de esfuerzos corregidos. También se puede ver que el coeficiente de distribución para la franja de columnas de momento negativo es menor que el correspondiente del ACI sin que se encuentre razón de ello. Tampoco se encuentra causa alguna de la diferencia entre los coeficientes de distribución de la franja de columnas de momento positivo.

En la Fig. 4 se presentan gráficamente los resultados de esta prueba.

## 6. Losa Experimental Worcester.

a) Descripción. Estructura construida especialmente para la prueba cerca de Worcester, Mass. Se trataba de obtener información acerca de los diferentes métodos de distribuir el acero de refuerzo y de la influencia del tamaño del capital de las columnas en el comportamiento de la estructura. La estructura era un cuadrado formado por 16 tableros también cuadrados de 4.26 m de lado; los tableros estaban divididos en

cuatro grupos según la distribución del refuerzo y el tamaño del capitel.

d) Discusión. Durante la prueba se presentaron asentamientos desiguales de las columnas que influyeron en el comportamiento de la estructura y fueron causa de que esta prueba, a pesar de ser una de las más completas que se han realizado, no sea de utilidad para estudiar los coeficientes de distribución del momento total, sino solamente para sacar las siguientes conclusiones de carácter cualitativo:

La forma de distribuir el acero de refuerzo negativo sobre las columnas no influye en los esfuerzos del mismo, pues estos resultaron iguales para los cuatro diferentes grupos. Sin embargo, el tamaño del capitel sí tiene bastante influencia sobre todo en los esfuerzos del acero negativo. Los esfuerzos en el refuerzo positivo de la franja central son mayores en el tablero de borde que en los interiores y en éstos son mayores que en los de esquina. En las franjas de columnas los máximos esfuerzos del refuerzo positivo se presentan en la orilla exterior del tablero de borde. Cabe mencionar que los bordes de la losa no tenían vigas y a pesar de esto no hubo una gran diferencia entre los esfuerzos de borde e interiores.

## 7. Edificio Curtis - Leger Company

a) Descripción. Edificio formado por losas planas de 20.3 cm de grosor, sin ábaco. Los tableros eran rectangulares de 5.78 m por 5.42 m. La losa fue diseñada para una carga viva de  $980 \text{ Kg/m}^2$  y una carga muerta de  $490 \text{ Kg/m}^2$ . El refuerzo negativo de la franja de columnas estaba formado por unidades armadas previamente independientes del refuerzo positivo; no existía refuerzo negativo en la franja central y el refuerzo positivo estaba formado por bandas rectangulares en la franja de columnas y bandas diagonales en la franja central. El refuerzo para los tableros

exteriores era ligeramente mayor que para los interiores y la losa tenía vigas de borde de 30.5 cm por 56 cm de sección transversal.

b) Procedimiento de prueba y método de medición . Se usaron intensidades de carga de 980, 1960 y 2440 Kg/m<sup>2</sup>, pero debido a escasez del material de carga, éste no se distribuyó uniformemente sobre los tableros. Debido a la disposición de la carga sólo se tomaron medidas de deformaciones en la dirección del claro largo de un tablero interior. Al colar el concreto de la losa se tomaron cilindros de prueba que al ensayarse dieron una resistencia promedio de 101 Kg/cm<sup>2</sup>. El procedimiento de medición usado fue el mismo que en pruebas anteriores, con la única variante de que antes de colar el concreto se insertaron unas clavijas de metal en los moldes, y al retirar éstos, quedaban los agujeros para colocar el extensómetro no habiendo necesidad de romper el concreto como en los casos anteriores

c) Resultados condensados . En las Tablas 19 a 21 se presentan los esfuerzos observados y corregidos. El módulo de elasticidad del acero se supuso igual a  $2.1 \times 10^6$  Kg/cm<sup>2</sup>.

Discusión . En las Tablas 22 y 23 se presentan los momentos calculados de los esfuerzos corregidos y los coeficientes de distribución.

Comparando el momento total con el obtenido aplicando la fórmula recomendada por el ACI, se observa que es mayor para la primera etapa de carga y mucho menor para las otras dos etapas. Como la diferencia en estas dos últimas etapas es muy grande y el coeficiente del momento total disminuye bastante, cabe pensar que el límite de fluencia supuesto para el acero de refuerzo es menor que el real, y por tanto los momentos últimos calculados bajo esta suposición son menores que los momentos reales

que estaba resistiendo la sección.

Estudiando los coeficientes de distribución se observa que el correspondiente a la franja de columnas del momento negativo es menor que el especificado por el ACI, y que los correspondientes al momento positivo son mayores, pero en esto influye la ausencia de refuerzo negativo en la franja central, como en las pruebas anteriores.

La Fig. 5 muestra gráficamente los resultados.

#### 8. Edificio Western Newspaper Union<sup>7 y 4</sup>

a) Descripción. Edificio de ocho pisos, de los cuales los cinco primeros son del tipo de losa apoyada sobre vigas y los otros tres son del tipo de losa plana. La prueba se realizó en el sexto piso, donde los tableros eran rectangulares de 5.30 m por 5.88 m, con refuerzo en cuatro direcciones; no había refuerzo en la franja central de momento negativo; el espesor promedio de la losa era 22 cm y no existían ábacos. Las columnas terminaban en capiteles octogonales de 1.37 m de diámetro interior. En pruebas que se hicieron el concreto dio una resistencia promedio de 247 Kg/cm<sup>2</sup> y el acero un límite de fluencia de 4460 Kg/cm<sup>2</sup>.

b) Procedimiento de prueba y método de medición. Se cargaron cuatro tableros interiores a intensidades de carga de 1125, 2150, 3120, 4200 y 4550 Kg/m<sup>2</sup>. El método de medición fue igual al ya descrito.

c) Resultados condensados. En la Ref. 4 se presentan el momento total y los porcentajes de momento total positivo y total negativo; estas momentos están calculados a partir de esfuerzos corregidos como en las pruebas anteriores. En las tablas 24 a 26 aparecen estos resultados.

d) Discusión. Se puede ver que el coeficiente del momento total es mayor

en las primeras etapas de carga y que conforme aumenta esta, va disminuyendo, en las dos últimas etapas se conserva aproximadamente constante y su valor está más cercano al obtenido por Nichols<sup>1</sup> que el recomendado por el ACI. Como en ninguna de las referencias se menciona cómo está distribuido el refuerzo positivo entre las franjas central y de columnas, no es posible obtener los coeficientes de distribución para cada franja. Los coeficientes de distribución para momento negativo total y momento positivo total son parecidos a los del ACI a través de todas las etapas de carga.

En la Fig. 6 se presentan los resultados gráficamente.

## 9 Edificio Sanitary Can<sup>24</sup>

a) Descripción. Edificio con losa plana reforzada en dos direcciones. Para hacer la prueba se cargaron cuatro tableros, dos de los cuales eran interiores y dos de borde; los tableros interiores eran cuadrados de 6.69 m de lado y los de borde rectangulares de 6.69 m por 6.48 m; la dimensión menor corresponde a la dirección perpendicular al borde. La losa tenía abacos cuadrados de 2.43 m de lado; los capiteles de las columnas medían 1.52 m de diámetro; el espesor de la losa era 26.7 cm y el del abaco 35.8 cm.

b) Procedimiento de prueba y método de medición. Los mismos que en las pruebas anteriores.

c) Resultados condensados. En la Tabla 27 se dan los coeficientes de distribución, calculados bajo la suposición de que el límite de fluencia del acero de refuerzo era 2800 Kg/cm<sup>2</sup>. En la Ref. 4 solo se presentan los resultados para un tablero interior. Los coeficientes están dados para los valores promedio del esfuerzo en todas

las secciones de la losa calculados con la fórmula,

$$f_s = \frac{WL \left(1 - \frac{2}{3} \frac{c}{l}\right)^2}{8 \sum A_{jd}}$$

d) Discusión . Se ve que el coeficiente del momento total está más cercano al de la fórmula de Nichols que al de la del ACI. Los coeficientes de distribución para momento negativo total y momento positivo total son prácticamente iguales para las 3 etapas de carga. Como no se reportan los esfuerzos para las distintas zonas de refuerzo, no se puede saber si estos coeficientes son correctos, pues cabe la posibilidad de que en algunas zonas los momentos calculados sean mayores que los momentos máximos resistentes.

En la Fig. 7 se presentan gráficamente los resultados.

#### 10. Edificio Shank<sup>4</sup>

a) Descripción . Losa plana con refuerzo en 4 direcciones. Se cargaron dos tableros interiores y dos de borde como en la prueba anterior; los tableros interiores eran cuadrados de 6.69 m de lado y los de borde, rectángulos de 6.69 m x 6.25 m. El espesor de la losa era 27.4 cm y el de los ábacos 35 cm; éstos eran cuadrados de 2.43 m de lado. El capitel de las columnas medía 1.52 m de diámetro.

b) Procedimiento de prueba y método de medición . Los mismos que en las pruebas anteriores.

c) Resultados condensados . Solo se reportan los resultados para un tablero interior; estos valores están calculados bajo las mismas suposiciones que los de la prueba anterior.

d) Discusión . La mayor diferencia entre los coeficientes de distribución obteni

dos y los del ACI se presenta en la franja central de momento negativo. En esto influye que el porcentaje de refuerzo para esta zona era muy pequeño, por lo que seguramente desde las primeras etapas de carga desarrolló su máximo momento resistente. El coeficiente correspondiente a la franja de columnas, momento negativo, es menor que el del ACI. Los coeficientes para momento positivo son algo mayores que los del ACI, pero en esto influye el poco porcentaje de refuerzo en la franja central de momento negativo. Tiene influencia sobre todo en la franja central de momento positivo, que es precisamente donde mayor es la diferencia.

En la Fig. 8 se presentan gráficamente los resultados de esta prueba, así como en la Tabla 28

#### 11 Bodega Ball Stees<sup>4</sup>

a) Descripción. Losa plana sin abacos reforzada en cuatro direcciones. Los tableros eran rectangulares de 6.10 m por 6.30 m; el grosor de la losa era 27.7 cm; no existía refuerzo en la franja central de momento negativo.

b) Procedimiento de prueba y método de medición. Los mismos que en las pruebas anteriores.

c) Resultados condensados. En la Tabla 29 se presentan los coeficientes de distribución y momento total calculados de la misma manera que en las dos pruebas anteriores.

d) Discusión. Los coeficientes de distribución para momentos positivos son mayores que los del ACI, especialmente para la franja central. Influye en esto la ausencia de refuerzo negativo en la franja central, los coeficientes de momento total están comprendidos entre el del ACI y el de la fórmula de Nichols.

La Fig. 9 muestra gráficamente los resultados

## 12 Ensayo de Purdue. Losa J<sup>4</sup>

a) Descripción. Losa construida especialmente para la prueba y formada por cuatro tableros cuadrados de 4.85 m de lado. Un borde de la losa terminaba en una trabe y los otros tres en framas en voladizo de 1.82 m; el grosor de la losa era 13.9 cm con abacos cuadrados de 2.43 m de lado y 19.4 cm de grosor. En la Ref. 4 no se mencionan las dimensiones de la viga de borde. Se midieron deformaciones en los cuatro tableros pero no en la viga de borde.

b) Procedimiento de prueba y método de medición. Los mismos que en las pruebas anteriores.

c) Resultados condensados. En las Tablas 30 a 34 se presentan los esfuerzos promedio corregidos en las distintas franjas de los tableros interior y exterior; se ha supuesto un límite de fluencia del acero igual a  $2800 \text{ Kg/cm}^2$ .

d) Discusión. En las Tablas 35 a 38 se presentan los momentos y los coeficientes de distribución para el tablero interior y para el tablero de borde en dirección perpendicular a la viga de borde. Observando los coeficientes de distribución para el tablero interior se puede ver que sus valores varían al ir aumentando la carga. Esto se debe a que en algunas secciones el refuerzo había alcanzado su límite de fluencia como puede verse en las tablas de esfuerzos. El coeficiente correspondiente a la franja de columnas de momento negativo es, para la primera etapa de carga, menor que el del ACI, para las siguientes etapas es casi igual, pero ya se había plastificado la franja central tanto positiva como negativa. El coeficiente de momento negativo en la franja central es casi igual al del ACI para la primera etapa de carga.

cunquo desde las secciones de los ACI, la diferencia entre las secciones está dada por los coeficientes de distribución de las cargas por secciones de los ACI para el caso del momento correspondiente a  $\mu = 1$ , empuje o momento de torsión. Por lo tanto, el coeficiente del momento relativo en la sección central  $\mu = 1$  correspondiente al ACI en la primera planta, es igual cuando la sección es unidimensional (es decir, cuando el empuje y el momento de torsión son cero) y a partir de la segunda etapa  $\mu = 1$  se vuelve negativo. Así, el coeficiente  $\mu = 1$  en la planta superior y en la planta de cobertura  $\mu = 1$  son negativos en todas las etapas en el caso de los ACI. Esto es debido al menor empuje o momento de torsión de las secciones dadas a partir de las secciones al refuerzo horizontal alcanzado a finales de la planta.

En el tablero de la planta superior, la diferencia entre los coeficientes obtenidos y los del ACI correspondiente a la planta superior en la planta superior, donde el coeficiente obtenido es igual al coeficiente del 50%, debido a la correspondencia del ACI. Esta diferencia se debe a la diferencia de parámetros de diseño que se aplicó al refuerzo en esta sección en los casos de momento y torsión de flexión. El coeficiente del momento negativo obtenido en las secciones de columna también es mayor que el correspondiente del ACI. Es importante mencionar que los coeficientes  $\mu = 1$  del ACI obtenidos en la tabla 25 corresponden al caso de  $\mu = 1$  en la planta superior<sup>2</sup>, pero en el caso de momento de torsión, la torsión se considera que se produce en la planta superior y no en la planta inferior, por lo que se debe considerar el momento de torsión en la planta superior.

En la Fig. 10, se muestran los resultados obtenidos para las secciones de columna.

#### 5. Empuje y Momento de torsión

a) Empuje y Momento de torsión: En la tabla 25, se muestran los resultados de los

losa unitaria (Losa 1), con excepción que el porcentaje de aluminosilicato es menor y que el concreto tenía una resistencia de  $35 \text{ Kg/cm}^2$ , por lo cual por lo menos esta losa resistió una carga menor que la anterior.

b) Procedimiento de prueba y método de medición – Iguales que en los pruebas anteriores.

c) Resultados condensados – En las tablas 39 y 40 se presentan los momentos en los distintos zonas de un tablero interior y los coeficientes de distribución respectivos. Para cargas mayores que la señalada la losa estaba a punto de fallar y ya se habían producido deformaciones excesivas.

d) Discusión – Los coeficientes de distribución obtenidos son muy parecidos los recomendados por el ACI. La diferencia mayor se observa en el correspondiente al momento negativo en la franja de zócalos que como se ha observado en casi todas las pruebas es menor. Esos resultados deben tomarse con reserva pues en los valores reportados se observan ciertas incongruencias ya que momentos obtenidos en sitios simétricos y que se esperaba fuesen iguales o parecidos resultan diferentes.

En la Fig. 11 se muestran gráficamente los resultados obtenidos.

#### 14. Losa plana experimental de concreto reforzado, ensayada en la Universidad de Illinois<sup>B</sup>

a) Descripción – La losa ensayada era un modelo de escala un cuarto de una losa prototipo diseñado de acuerdo con el método empírico descrito en la sección 1004 de las especificaciones del ACI<sup>2</sup>. Esta losa fue diseñada para una carga viva de  $980 \text{ Kg/cm}^2$  y una carga muerta de  $410 \text{ Kg/m}^2$  que hacen una carga total de  $1,390 \text{ Kg/m}^2$ . Los esfuerzos permisibles fueron:

$$f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_c = 94.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_s = 1400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$v_c = 0.025 f'_c = 5.25 \text{ Kg/cm}^2$$

La losa prototipo estaba formada por 9 tableros cuadrados, tres en cada dirección, de 6.10 m de lado. El espesor de la losa era 17.8 cm y el de los ábacos 25.4 cm; éstos eran cuadrados de 2.02 m de lado. El refuerzo en la losa prototipo estaba formado por barras cuadradas de  $\frac{1}{2}$ " de tal manera que los de la losa a escala resultaron barras cuadradas de  $\frac{1}{8}$ ". Los capiteles de las columnas interiores eran cuadrados de 1.22 m de lado.

La estructura estaba limitada en dos de los bordes por vigas rígidas y en los otros dos por vigas flexibles, de tal manera que la estructura era simétrica respecto a un eje diagonal (Fig. 12). Las vigas rígidas tenían una sección de 20.3 cm x 60.9 cm, y las flexibles de 45.7 cm de base y 25.4 cm de altura.

Las columnas interiores eran cuadradas de 38.1 cm de lado; las columnas de esquina también cuadradas de 35.5 cm de lado y las de borde, rectangulares de 35.5 cm x 51 cm.

La losa a escala satisficó todas las especificaciones del reglamento ACI con excepción de las limitaciones del espesor de la losa que establece la sec. 1004 (d). Las relaciones esfuerzo-deformación del acero y del concreto usados en la losa prototipo eran las mismas que para los usados en la losa a escala. Por varias experiencias realizadas se puede considerar que el comportamiento del modelo fue representativo del comportamiento de la estructura real.

b. Procedimiento de prueba y método de medición El modelo a escala de la estructura fue ensayado bajo condiciones óptimas en un laboratorio. Para cargar la losa se emplearon gatos hidráulicos de 20 Tm, a los cuales se les daba presión por medio de una bomba eléctrica, un sistema de válvulas permitía que la carga se pudiese aplicar a todas las tableros o a cualquier combinación que se deseara. La carga de cada gato era transmitida a los tableros por medio de un sistema de vigas que permitía repartir la carga uniformemente. En las vigas principales de estos sistemas repartidores se colocaron cuatro medidores eléctricos de deformaciones del tipo A-7 SR-4 que, mediante una calibración adecuada de las vigas, permitan conocer la carga aplicada a la losa con una aproximación de  $9.8 \text{ Kg/m}^2$ .

Para medir las deformaciones del acero de refuerzo, se colocaron 345 medidores eléctricos de deformaciones. Como la estructura era simétrica, la mitad noreste fue instrumentada completamente y en la otra mitad solo se colocaron medidores aislados para comprobación. En el acero situado en la parte inferior de la losa se usaron medidores del tipo A-12 SR-4 que tienen una longitud de medición de 2.54 cm, y en el acero situado en la parte superior de la losa y en las vigas de borde se usaron del tipo A-7 SR-4 que tienen una longitud de medición de 0.64 cm. De los 345 medidores, 90 estaban en el acero de la parte inferior de la losa, 191 en el de la parte superior y 64 en las vigas.

Las columnas de la estructura estaban apoyadas en dinamómetros en forma de trípodes instrumentados con 2 medidores eléctricos de deformaciones del tipo A-7 SR-4 en cada pata, que permitían conocer las reacciones de las columnas en tres direcciones con la cual quedaban determinadas.

Se midieron las deflexiones de la losa en el centro de cada tablero y en los puntos medios de las vigas y de las líneas que unían los centros de las columnas por medio de micrómetros de 0.001"; estos aparatos se usaron también para medir las rotaciones torsionales de dos vigas, una rígida y una flexible.

Los resultados de la prueba fueron recopilados automáticamente en máquinas IBM.

Se aplicaron a la losa 38 tipos de carga, pero en la Ref. 8 únicamente se presentan los resultados de tres, que son los más importantes para este estudio. Estos tres tipos consistieron en cargar la losa uniformemente sobre los 9 tableros. En el primero se aplicó una carga de  $1155 \text{ Kg/m}^2$ , que sumada al peso propio de la losa a escala y al peso del sistema de vigas empleado para distribuir la carga, hacía un total de  $1390 \text{ Kg/m}^2$ , o sea, la carga de diseño. En el segundo se aplicó una carga de  $1660 \text{ Kg/m}^2$ , que corresponde al peso propio de la losa real más una vez y media la carga viva de diseño. En el tercero, la carga aplicada alcanzó un valor de  $2475 \text{ Kg/m}^2$ , para esta carga falló la estructura. Las cargas se aplicaron en incrementos, haciendo lecturas de las deformaciones después de cada uno de ellos.

Como se ha explicado anteriormente, el momento resistente en una sección no puede determinarse directamente a partir de los esfuerzos obtenidos multiplicando las deformaciones unitarias por el módulo de elasticidad del acero. En esta prueba se siguió un procedimiento distinto al que se ha empleado para salvar esta dificultad en las pruebas anteriores. El procedimiento consistió en obtener experimentalmente gráficas que relacionaban las deformaciones medidas con los momentos externos. Estas gráficas se establecieron para los distintos perfiles y porcentajes de refuerzo que se presentaban en la losa, y estaban constituidas por dos líneas rectas, la primera repre-

sentaba la relación entre deformaciones y momentos antes de que el concreto se agrietara y la segunda después de que se agrietara. Cuando antes de medir las deformaciones se habían realizado pruebas que hubiesen dejado agrietada la losa, existían en el acero deformaciones residuales; para tomar en cuenta este efecto se construyeron gráficas que corregían la pendiente de la gráfica deformación-momento cuando se presentaba este caso.

c) Resultados condensados. En la tabla 41 se muestran los momentos totales en el tablero interior para los distintos incrementos de carga que se dieron a la losa hasta alcanzar la carga de  $1155 \text{ Kg/m}^2$ . En la primera columna aparece el momento obtenido de las deformaciones como se explicó en el párrafo anterior. En la segunda columna se presenta el momento total obtenido aplicando la ecuación 10 de la sección 1004 (f) del Reglamento ACI, ligeramente modificada para el caso de capiteles cuadrados<sup>9</sup>; los valores obtenidos son 4% menores que los que se hubiesen obtenido sin modificar la fórmula; la fórmula modificada es:

$$M_o = 0.09 \text{ WLF } (1 - 3c/4L)^2$$

En la tercera columna se presentan los momentos obtenidos aplicando la fórmula anterior con el coeficiente calculado originalmente por Nichols, o sea,

$$M_o = 0.125 \text{ WLF } (1 - 3c/4L)^2$$

En las Tablas 42 y 43 se presentan los momentos en las distintas secciones del tablero interior y los coeficientes de distribución comparándolos con los del ACI. Los momentos en las dos direcciones de la losa resultaron muy parecidos, y los valores que se dan en las tablas mencionadas son el promedio de ambos.

En las Tablas 44 a 61 se presentan los momentos totales y los coeficientes de

distribución para los tableros de borde y de esquina. Los momentos totales se comparan con los obtenidos de acuerdo con las especificaciones de las secciones 1004 (f) y 1004 (c) del Reglamento ACI<sup>2</sup>.

Para las cargas de 1390 y 2475 Kg/m<sup>2</sup> no se reportan los momentos ni es posible obtenerlos pues tampoco se dan los esfuerzos residuales.

d) Discusión. Como puede verse, esta es la prueba más completa realizada hasta la fecha en losas planas. Los momentos totales de diseño recomendados por el ACI para la losa resultaron menores que los obtenidos, mientras que los momentos de diseño para las vigas de borde fueron mayores que los obtenidos con excepción de las vigas flexibles del tablero A. Entre los coeficientes de distribución obtenidos y los del ACI se observan diferencias grandes. Más adelante se aprovechan los resultados de esta prueba para proponer nuevos coeficientes de distribución. En las Figs. 12(a), 12(b), 12(c), 12(d), 12(f), 12(g) y 12(h) se presentan gráficamente los resultados obtenidos.

#### 15. Placa plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois 10

a) Descripción. Estructura semejante a la anterior con la única diferencia de que las columnas no tenían capiteles, ni existían abacos. Las dimensiones de los tableros y el espesor de la losa eran iguales a los de la prueba anterior, así como los esfuerzos permisibles en el acero y en el concreto. La carga de diseño era menor, 760 Kg/m<sup>2</sup>. Para el diseño se siguieron también las especificaciones ACI.

b) Procedimiento de prueba y método de medición. Para cargar la losa y medir las deformaciones se emplearon los mismos instrumentos que en la prueba anterior.

c) Resultados condensados. En la referencia (10) se reportan los momentos obtenidos de las reacciones en las columnas. Se considero la estructura en un plano y los claros medidos de centro a centro de las columnas. Los momentos se comparan con los del ACI. En la Tabla 62 se presentan estos resultados, para las tres pruebas que se efectuaron con 9 tableros cargados.

d) Discusión. Los coeficientes obtenidos, con excepción de los negativos exteriores, son parecidos a los del ACI para la carga de diseño. Después de esta etapa ocurrió una redistribución de momentos hacia las zonas de momento negativo.

La distribución de los momentos entre las franjas de columnas y central no es posible obtenerla de los datos reportados.

### III PROPOSICION DE COEFICIENTES DE DISTRIBUCION

16. Tablero interior. En los ensayos descritos es posible observar que el momento total tiene un valor cercano al obtenido con la fórmula de Michals, especialmente en la prueba de la losa plana a escala de la Universidad de Illinois<sup>8</sup> cuyos resultados son los de más confianza. Las reducciones propuestas por la ASCE y por el Joint Committee tienen por resultado disminuir el coeficiente de seguridad de la losa, lo cual puede lograrse también, de una manera más racional, conservando el valor total del momento y aumentando los esfuerzos permisibles en el concreto y en el acero.

Respecto a los coeficientes de distribución se pueden hacer las siguientes observaciones:

a) Momento negativo, franja de columnas. En la prueba realizada en la Universidad de Illinois se obtuvo un valor cercano a 42 por ciento a través de todas las etapas de carga y en las demás pruebas se obtuvieron valores parecidos antes de que ocurriesen redistribuciones de momentos.

b) Momento negativo, franja central. En algunas de las losas ensayadas no se proporcionó refuerzo para resistir este momento, y en otras fue tan escaso que se desarrolló el momento último desde las primeras etapas de carga y ocurrieron redistribuciones de momentos. En el ensayo llevado a cabo en la Universidad de Illinois si se provió suficiente refuerzo y se obtuvo un coeficiente de distribución cercano a 26%.

c) Momento positivo, franja de columnas. Las redistribuciones de momento de que se ha hablado en el inciso anterior, fueron causa de que los momentos en esta franja y en la franja central de momento positivo fuesen mayores que los momentos

que se hubieran obtenido sin esas redistribuciones. En la tercera ensaya en la Universidad de Illinois se obtuvo un coeficiente cercano a 13%.

d) Momento positivo, franja central Se encuentra en el mismo caso que la franja anterior. En la Universidad de Illinois se obtuvo un coeficiente cercano a 14%.

17. Tablero de borde paralelo a una viga rígida De acuerdo con el reglamento actual ACI, este tablero se diseña basándose en dar valores distintos del momento total. La franja de columnas interiores y la franja central se diseñan tomando como momento total el mismo que corresponde a un tablero interior, y la franja adyacente al borde basándose en el momento total calculado de acuerdo con las condiciones de apoyo en las columnas exteriores (Ref. 2, Sec. 1004 c).

La única prueba en la que se obtuvieron datos sobre la distribución del momento total en un tablero de este tipo es la descrita en la Ref. 8. Para esta prueba en particular, los momentos totales calculados de acuerdo con las condiciones de apoyo en las columnas interiores y exteriores resultaron prácticamente iguales. El momento total obtenido a través de las distintas etapas de carga tuvo valores cercanos a los que proporciona la fórmula de Nichols. Los coeficientes de distribución promedio fueron los siguientes:

	Franja de columnas	20%
	Franja central	18%
Momentos negativos	Franja de borde	20%
	Viga de borde	12%

Momentos positivos:	Franja de columnas	9%
	Franja central	11%
	Franja de borde	4%
	Viga de borde	6%

18 Tablero de borda paralelo a una viga flexible. Este tablero se diseña igual que el anterior según el reglamento ACI, y los únicos datos disponibles son los reportados en la Ref. 8. El momento total calculado para las condiciones de apoyo en las columnas interiores es menor en esta losa que el calculado para las condiciones de apoyo en las columnas exteriores. Los momentos negativos para las distintas intensidades de carga en la franja de columnas tienen valores muy cercanos a los obtenidos en el tablero paralelo a la viga rígida lo cual confirma la hipótesis de diseño del ACI. Para los momentos negativos en la franja central, aunque existe una diferencia mayor con los correspondientes del tablero paralelo a la viga rígida, todavía puede considerarse válida la hipótesis de diseño.

Para los momentos negativos y positivo de la franja central se obtiene aproximadamente el mismo coeficiente que para el tablero anterior, pero aplicado al promedio de los momentos totales dados por la fórmula de Nichols para las condiciones de apoyo sobre las columnas interiores y exteriores.

Para la franja adyacente al borde y para la trabe se pueden aplicar los coeficientes obtenidos para el tablero anterior pero calculando el momento total para las condiciones de apoyo sobre las columnas exteriores.

Resumiendo, para un tablero de borda se pueden aplicar los coeficientes anteriores ya sea la viga de borda rígida o flexible. Los coeficientes para las franjas de

columnas interiores. Los coeficientes para las franjas de bordes se aplican al momento total calculado por la fórmula de Nichols para las columnas exteriores. Los coeficientes para las franjas interiores se aplican al promedio de los dos momentos totales anteriores.

19. Tablero de borde perpendicular a una viga rígida. La gráfica momento total y su carga no conservó la misma pendiente a través de todas las etapas de carga. Después de la tercera etapa esta pendiente disminuyó bruscamente debido a una redistribución de momentos hacia otros tableros. Para las primeras etapas de carga el momento total fue aproximadamente 10% mayor que el momento total para un tablero interior calculado por la fórmula de Nichols. Los coeficientes de distribución promedio son los siguientes:

	Franja de columna exterior	20%
Momentos Negativos	Franja central exterior	7%
	Franja columnas interior	50%
	Franja central interior	21%
	Franja columnas	27%
Momentos Positivos	Franja central	24%

20. Tablero de borde perpendicular a una viga flexible. El momento total fue ligeramente menor que el del tablero anterior tal como era de esperarse pues el claro efectivo para la franja central era menor. El momento total puede considerarse

se igual al dedo por la fórmula de Nichols para un tablero interior. Los coeficientes promedio de distribución obtenidas son los siguientes.

Momentos Negativos	Franja de columnas exterior	17%
	Franja central exterior	4%
	Franja columnas interior	50%
	Franja central interior	25%
Momentos Positivos	Franja columnas	27%
	Franja central	25%

21. Tablero de esquina (vigas de borde rígidas). Los coeficientes propuestos son los que aparecen en la tabla siguiente. Los correspondientes a la franja de columnas se aplicarán al momento total calculado por la fórmula de Nichols para un tablero interior. Los de la franja de borde y los de la viga, al momento total calculado por la fórmula de Nichols para las condiciones de apoyo en las columnas exteriores. Los de la franja central, al promedio de los dos momentos totales anteriores.

Momentos Negativos Exteriores	Franja columnas	11%
	Franja central	6%
	Franja de borde	5%
	Viga de borde	6%
Momentos Negativos Interiores	Franja de columnas	23%
	Franja central	15%
	Franja de borde	16%
	Viga de borde	13%

Momentos Positivos	Franja columnas	15%
	Franja central	21%
	Franja de borde	5%
	Viga de borde	13%

22. Tablero de esquina (vigas de borde flexibles) Los coeficientes propuestos, que se aplicarán en la misma forma que los del tablero anterior son los siguientes:

Momentos Negativos Exteriores	Franja columnas	8%
	Franja central	3%
	Franja de borde	6%
	Viga de borde	10%
Momentos Negativos Interiores	Franja de columnas	25%
	Franja central	21%
	Franja de borde	22%
	Viga de borde	14%
Momentos Positivos	Franja de columnas	16%
	Franja central	25%
	Franja de borde	8%
	Viga de borde	11%

#### IV. RECOMENDACIONES TENTATIVAS PARA DISEÑO

23. Momento total. Ha quedado demostrado que la expresión encontrada por Nichols es adecuada para calcular los momentos totales. Las siguientes ecuaciones obtenidas por Siess<sup>9</sup> haciendo consideraciones análogas a las de Nichols, son sencillas de aplicar en diseños rutinarios y cubren distintas formas de capitel y distintas relaciones de claro largo a claro corto del tablero.

Para tableros cuadrados y capitel circular:

$$M_o = 0.125 W L \left( 1 + 1.25 \frac{c}{l} \right)$$

Para tablero rectangular y capitel circular:

$$M_o = 0.125 W L_1 \left[ 1 + \frac{4c}{9l} \frac{c}{L_1} + \frac{1}{3} \left( \frac{c}{L_1} \right)^3 \frac{L_1}{L_2} \right]$$

Para tablero rectangular y capitel rectangular:

$$M_o = 0.125 W L_1 \left[ 1 + \frac{\frac{c_1}{2 + \frac{c_2}{c_1}}}{1 + \frac{c_1}{c_2}} \frac{c_1}{L_1} + \frac{1}{1 + \frac{c_1}{c_2}} \cdot \frac{c_1^2 c_2}{L_1^2 L_2} \right]$$

$L_1$  y  $C_1$  representan el claro y la longitud del capitel en la dirección considerada, y  $L_2$  y  $c_2$  en la dirección perpendicular.

Para tableros o capiteles cuadrados basta hacer  $L_1 = L_2$ , o  $c_1 = c_2$  respectivamente.

24. Coefficientes de distribución del momento total. Las condiciones de borde representan un factor importante en la distribución del momento total. El Reglamento ACI hace depender los coeficientes de distribución del momento total en los tableros de borde y de esquina, de la rigidez a flexión de las trabes de borde. En realidad, los momentos en dirección perpendicular a los bordes dependen de la rigidez torsional de las trabes y de la rigidez flexionante de las columnas. Los momentos en dirección paralela al borde sí dependen de la rigidez flexionante de las trabes. Sin embargo, el

calculo de las restricciones de las columnas y de las trabes sobre la losa resulta complicado.

Teniendo en cuenta los factores anteriores, observando las semejanzas en los coeficientes de distribución para los distintos tableros y utilizando la capacidad de redistribución de momentos en las losas, se proponen los siguientes coeficientes de distribución (Fig. 13):

Franja	Tablero exterior			Tablero Interior	
	Mom. Negati vo exterior	Momento positivo	Momento Neg. Int.	Mom. Nega tivo	Mom. Posi tivo
De columnas	20	30	40	40	20
Central	8	25	25	25	15

Estos coeficientes pueden aplicarse a losas con ábaco o sin él, ya que se ha encontrado que su efecto es despreciable.<sup>11</sup>

La franja adyacente al borde discontinuo y la trabe de borde, pueden considerarse como media franja de columnas y distribuir los momentos entre la losa y la trabe de acuerdo con su rigidez flexionante.

Al establecer los coeficientes anteriores se han aumentado los correspondientes a momentos positivos y disminuido los de momento negativo ya que el efecto de cargas parciales es más desfavorable sobre los primeros.

En la Ref. 11 se proponen los siguientes coeficientes de distribución:

Franja	Tablero exterior			Tablero Interior	
	Mom. Negati vo exterior	Momento positivo	Momento Neg. Int.	Mom. Nega tivo	Mom. Posi tivo
De columnas	25	25	46	46	18
Central	11	25	18	18	18

Se cree que los coeficientes propuestos en el presente trabajo presentan sobre los de esta tabla las siguientes ventajas:

1. Mayores momentos positivos para tomar en cuenta el efecto de cargas parciales.
2. Menores momentos perpendiculares a los bordes para evitar fallas por torsión en las vigas de borde. Cabe mencionar que en la prueba descrita en la Ref. 11, las vigas de borde presentaron grietas importantes de torsión.
3. Por la relación entre momentos negativos y positivos resulta más sencillo proveer el acero de refuerzo.

25. Limitaciones. En el presente trabajo se ha considerado que la losa no falla por torsión diagonal; este tipo de solicitaciones es importante especialmente en el caso de placa plana y debe hacerse un análisis adecuado, por ejemplo como el recomendado por el Comité 326 del ACI<sup>12</sup>.

Si la carga se aplica en filas alternadas de tableros, se obtiene un incremento en los momentos positivos y una disminución en los negativos que dependen esencialmente de la rigidez flexionante relativa de las columnas. Por medio de un análisis elástico se encontró que cuando la relación del diámetro de capitel a la longitud del tablero era 0.15, los momentos positivos se incrementaban 130% si la rigidez de la columna era nula y 20% si la columna era infinitamente rígida<sup>4</sup>. En los ensayos efectuados en la Universidad de Illinois, el incremento en los momentos positivos, para el tipo de carga mencionado, fue cercano a 20%, valor correspondiente a columnas infinitamente rígidas, no obstante que las columnas eran flexibles. En estructuras reales, el incremento será siempre menor que 20% pues no podrá darse el caso de que toda la carga sea

viva. Por consiguiente, no se juzga necesario limitar, por este concepto, la rigidez relativa de las columnas ni la relación de carga viva a carga muerta.

Westergaard<sup>4</sup> ha demostrado analíticamente que la variación de momentos es pequeña si la relación de diámetro del capitel a claro de la losa aumenta de 0.15 a 0.30. Por consiguiente, el diámetro mínimo del capitel, o de la columna en caso de no existir capitel, estará determinado por la resistencia a tensión diagonal.

Los coeficientes para tableros exteriores que se proponen corresponden al caso en que la rigidez torsional de las traves de borde está definida por  $J = 0.4$ , donde:

$$J = \frac{G C_a}{\alpha N}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

$C_a$  = momento polar de inercia de la traves de claro  $a$

$\alpha$  = claro de la viga

$$N = \frac{E_t^3}{12(1 - \mu^2)}$$

Cuando no se tienen traves de borde, el momento negativo exterior en la franja central será nulo. Si se observan los coeficientes propuestos se puede ver que el correspondiente a este momento es solamente 8%. Se recomienda distribuir este coeficiente entre las de las otras zonas proporcionalmente a su magnitud, lo cual no conduce a errores importantes, cuando  $J$  sea menor que 0.4 o cuando no se tengan traves de borde. Este criterio se ve confirmado por los resultados obtenidos en la Losa Experimental Worcester, que indicaron que las traves de borde no ejercían una influencia importante.

Si no existe transmisión de momentos de la losa a las columnas de borde, los momentos negativos exteriores serán nulos. Se recomienda incrementar los momentos positivos del tablero de borde en 30% y los negativos interiores en 20%. En el borde de la losa sólo se colocará refuerzo por temperatura. Estas recomendaciones son válidas también para el caso en que la losa esté apoyada sobre un muro de borde no monolítico con ella.

Para poder aplicar los coeficientes de distribución propuestos en este trabajo, las losas deberán satisfacer los requisitos de la sección 1004 (a) del Reglamento ACI<sup>2</sup>. En caso contrario, la estructura deberá diseñarse como un marco rígido de acuerdo con las normas usuales.

## V. REFERENCIAS

1. J.R. Nichols, "Statistical limitations upon the steel requirements in reinforced concrete flat slab floors". Trans. ASCE, Vol. 77, 1914.
2. ACI, Building code requirements for reinforced concrete.
3. A.N. Talbot y W.A. Slater, "Tests of reinforced concrete buildings under load". Boletín No. 64 de la Estación de Ingeniería Experimental de la Universidad de Illinois, Urbana, Ill. 1913.
4. H.M. Westergaard y W.A. Slater, "Moments and stresses in slabs". Proceedings ACI, 1921.
5. A.N. Talbot y W.A. Slater, "Tests of reinforced concrete flat slab structures". Boletín No. 84 de la Estación de Ingeniería Experimental de la Universidad de Illinois, Urbana, Ill, 1916.
6. Charles S. Whitney, "Plastic theory of reinforced concrete design". Transactions ASCE, Vol. 107, 1942.
7. A.N. Talbot y H.F. Gonnerman, "Test of the Western Newspaper Union Building". Boletín No. 106 de la Estación de Ingeniería Experimental de la Universidad de Illinois, Urbana, Ill. 1918.
8. D.S. Hatcher, In A. Sozen y C.P. Sless, "An experimental study of a quarter-scale reinforced concrete flat slab floor. Civil Engineering studies, Structural Research Series No. 200, Universidad de Illinois, Urbana, Ill. Junio 1960.
9. C.P. Sless, "Re-examination of Nichols' expression for the static moment in a flat slab floor", Proceedings ACI, 1959.
10. G.T. Mayes, M. A. Sozen y C.P. Sless, "Tests on a quarter-scale model of a multiple panel reinforced concrete flat plate floor. Civil Engineering Studies, Structural Research Series No. 181, Universidad de Illinois, Urbana, Ill. Sep. 1959

11. D.S. Hatcher, M. A. Sozen y C.P. Siess, "A study of tests on a flat plate and a flat slab". Universidad de Illinois, Urbana, Ill. julio 1961.
12. Shear and diagonal tension, Part. 3, Slabs and footings. ACI-ASCE Committee 326.
13. W.L. Gamble, "Measured and theoretical bending moments in reinforced concrete floor slabs", Tesis doctoral, Universidad de Illinois, Urbana, Ill. 1962.

TABLA I

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Líneas de medición						Promedio	
	110		111		112		sin corregir	corregidos
	sin corregir	corregidos	sin corregir	corregidos	sin corregir	corregidos		
367	24.7	418	35.2	597	28.3	475	29.4	496.7
734	42.2	716	70.3	1195	56.4	955	56.3	956.0
1100	112.5	2040	126.5	2110	169.0	2460	136.0	2080.0
1465	253.0	3690	253.0	3690	282.0	3720	262.7	2100.0
1710	337.5	3800	337.5	3800	337.5	3800	337.5	2100.0

Edificio Deere and Webber. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 1.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ver Fig. 1 para interpretación de las Tablas

TABLA 2

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Líneas de medición					
	108		109		Promedio	
	sin corregir	corregidos	sin corregir	corregidos	sin corregir	corregidos
367	14.1	239	14.1	239	14.1	239
734	28.3	478	28.3	478	28.3	478
1100	140.5	2390	197.0	2950	168.7	2100
1465	280.2	3720	365.0	3870	322.6	2100
1710	437.0	3930	478.0	3970	457.5	2100

Edificio Deere and Webber. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 2

TABLA 3

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Líneas de medición												Promedio	
	202		203		204		205		206		207			
	sin corregir	corregidos	sin corregir	corregidos	sin corregir	corregidos	sin corregir	corregidos	sin corregir	corregidos	sin corregir	corregidos	sin corregir	corregidos
367	1141	910	176	1140	141	960	70	367	211	1100	127	821	144	833
734	387	1580	457	1620	387	1580	317	1190	422	1265	528	1760	416	1499
1100	633	1900	740	1930	740	1930	703	1545	633	1475	970	2030	737	1802
1465	844	1965	1055	2175	1090	2190	1090	1860	844	1580	1400	2375	1054	1951
1710	1020	2110	1265	2320	1355	2350	1375	1965	1020	1825	1690	2670	1284	2032

Edificio Deere and Webber. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 4.

TABLA 4

Carga Kg/m <sup>2</sup>	367	734	1100	1465	1710
Momentos negativos Franja de columnas Franja central	8000	13800	16550	18750	19700
Momentos positivos Franja de columnas Franja central	489 1690	979 3225	4320 7170	4320 7170	4320 7170
Momento negativo total	8000	13800	16550	18750	19700
Momento positivo total	2169	4204	11490	11490	11490
Momento total	10169	18004	28040	30240	31190
Momento Total ACI	4570	9160	13800	18250	21300
Momento total Nichols	6340	12700	19150	25300	29600
$\frac{M_o}{Wl(1-\frac{2c}{3l})^2}$	0.199	0.177	0.182	0.149	0.131

Edificio Deere and Webber. Momentos en Kg - m para diferentes etapas de carga.

TABLA 5

Carga	367	734	1100	1465	1710	ACT
<b>Momentos Negativos</b>						
Franja de columnas	78.6	76.6	59.0	62.0	63.0	46.0
Franja central						16.0
<b>Momentos Positivos</b>						
Franja de columnas	4.8	5.4	15.4	14.3	13.8	22.0
Franja central	16.6	18.0	25.6	23.7	23.2	16.0
<b>Mom.negativo total</b>	<b>78.6</b>	<b>76.6</b>	<b>59.0</b>	<b>62.0</b>	<b>63.0</b>	<b>62.0</b>
<b>Mom.positivo total</b>	<b>21.4</b>	<b>23.4</b>	<b>41.0</b>	<b>38.0</b>	<b>37.0</b>	<b>38.0</b>
<b>Momento total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

Edificio Deere and Webber. Porcentajes del Momento Total para diferentes etapas de carga.

TABLA 6

Carga Kg/m <sup>2</sup>	No. de tableros cargados	Líneas de medición								Promedio	
		283		247		252		237			
		sin corregir	corre- gidos	sin corregir	corre- gidos	sin corregir	corre- gidos	sin corregir	corre- gidos	sin corregir	corre- gidos
274	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
589	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
935	9	738	1900	842	1930	800	1900	673	1825	763	1889
935	3	421	1615	842	1930	780	1900	548	1685	648	1782
1190	1	316	1300	842	1930	759	1880	548	1685	616	1699

Edificio Shredded Wheat Factory. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 4.

TABLA 7

Carga Kg/m <sup>2</sup>	No. de tableros cargados	Líneas de medición						Promedio	
		248		249		251			
		sin corregir	corre- gidos	sin corregir	corre- gidos	sin corregir	corre- gidos	sin corregir	corre- gidos
274	9	-	-	-	-	-	-	-	-
589	9	-	-	-	-	-	-	-	-
935	9	970	3020	1285	3230	1160	3090	1138	2100
935	3	865	2980	1220	3160	1075	3020	1053	2100
1190	1	927	3000	1160	3090	1075	3020	1054	2100

Edificio Shredded Wheat Factory. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 3

TABLA 8

Carga Kg/m <sup>2</sup>	No de tableros cargados	Líneas de medición											
		134		135		138		137		138		145	
		sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.
274	9	211	2027										
589	9	316	216										
935	9	673	2329	682	270	900	2350	885	2425	800	2350	790	2350
935	3	673	2370	811	3329	840	2359	885	2425	800	2350	673	2320
1190	1	800	2350	750	270	900	2350	1120	2600	800	2350	863	2420

Edificio Shredded Wheat Factory. Isótopos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 2.

TABLA 9

Carga Kg/m <sup>2</sup>	No de tableros cargados	Líneas de medición									
		139		140		141		142		143	
		sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.
274	9					290	2350				
572	9					339	3300				
935	9	695	2370	127	3620	900	3650	1050	3690	1010	3650
935	3	1095	2370	127	3620	900	3620	1000	3650	990	3650
1190	1	1005	2350	127	3690	1200	3720	1285	3760	1200	3720

Edificio Shredded Wheat Factory. Isótopos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 1.

TABLA 8

	Líneas de medición																Promedio			
	135		137		138		141		142		143		152		153		sin corr.	corr.		
	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.						
																	252	1965	231	1983
																	357	2175	336	2100
0	800	2350	885	2425	800	2350	730	2350	800	2350	843	2350	990	2525	1010	2525	823	2100	823	2100
0	800	2350	885	2425	800	2350	673	2320	672	2320	729	2350	104	2425	843	2380	760	2100	760	2100
0	990	2350	1120	2600	800	2350	863	2420	820	2380	910	2460	1070	2560	1010	2525	920	2100	920	2100

rizos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 2

TABLA 9

	Líneas de medición										Promedio	
	140		141		142		143		144		sin corr.	corr.
	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.				
											90	2100
											71	2100
	3620	990	3650	1050	3690	1010	3650	760	3370	970	3370	2100
	3620	950	3620	1000	3650	990	3650	710	3370	950	3370	2100
	3690	1200	3720	1285	3760	1200	3720	865	3510	1160	3510	2100

rizos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 1

TABLA 10

Carga	274	589	935	935	1190
No. de tableros cargados	9	9	9	3	1
<b>Momentos Negativos</b>					
Franja columnas			12250	11600	11050
Franja central			4825	4825	4825
<b>Momentos Positivos</b>					
Franja columnas	8600	8700	8700	8700	8700
Franja central	5020	5020	5020	5020	5020
Mom. negativo total			17075	16425	15875
Mom. positivo total	13620	13720	13720	13720	13720
Mom. total			30795	30145	29595
Mom. total A.C.I.			17950	17950	17950
Mom. total Nichols			24800	24800	24800
$Mc/wl(1 - \frac{2}{3} \frac{c}{l})^2$			0.154	0.151	0.148

Edificio Shredded Wheat Factory Momentos en Kg-m para diferentes etapas de carga.

TABLA 11

Carga	274	589	935	935	1190	ACI
No. tableros cargados	9	9	9	3	1	
<b>Momentos Negativos</b>						
Franja columnas			39.9	38.5	37.4	50
Franja central			15.6	16.0	16.3	15
<b>Momentos Positivos</b>						
Franja columnas			28.2	28.9	29.3	20
Franja central			16.3	16.6	17.0	15
Mom. negativo total			55.5	54.5	53.7	65
Mom. positivo total			44.5	45.5	46.3	35
Momento total			100.0	100.0	100.0	100

Edificio Shredded Wheat Factory. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga.

TABLA 12

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Líneas de medición				Promedio	
	Dirección NW-SE		Dirección NE-SW			
	sin corregir	corre gidos	sin corregir	corre gidos	sin corregir	corre gidos
923	0	0	63	652	31	326
1560	63	652	63	652	63	652
2130	84	870	106	1090	95	980
3530	211	2175	274	2320	242	2100

Edificio Schulze Baking Company. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 1, banda diagonal.

TABLA 13

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Líneas de medición				Promedio	
	230		231			
	sin corregir	corre gidos	sin corregir	corre gidos	sin corregir	corre gidos
923	42	1980	0	0	21	990
1560	21	990	0	0	10	495
2130	53	2480	63	2970	58	2100
3530	148	6950	105	4950	127	2100

Edificio Schulze Baking Company. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 3, claro largo.

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Líneas de medición			
	Columna central		Columna de esquina	
	sin corregir	corre- gidos	sin corregir	corre- gidos
923	42	230	84	428
1560	63	344	190	962
2130	147	809	400	1335
3530	317	1335	485	1400

Edificio Schulze Baking Company. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 4, banda diagonal

TABLA 15

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Líneas de medición			
	Col. central, claro largo		Col. central, claro corto	
	sin corregir	corre- gidos	sin corregir	corre- gidos
923	148	820	42	235
1560	232	1265	63	354
2130	274	1335	148	830
3530	485	1545	357	1400

Edificio Schulze Baking Company. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 4, banda rectangular.

TABLA 16

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Líneas de medición			
	Claro largo		Claro corto	
	sin corregir	corre- gidos	sin corregir	corre- gidos
923	63	750	63	750
1560	147	1670	253	2380
2130	232	2380	211	2350
3530	589	2630	632	2525

Edificio Schulze Baking Company. Esfuerzos en Kg/cm en la zona 2, banda rectangular.

TABLA 17

Carga	923	1560	2130	3530
<b>Momentos Negativos</b>				
Franja de columnas	7090	10700	13550	18000
Franja central	1135	1135	2520	2520
<b>Momentos Positivos</b>				
Franja de columnas	3240	7190	9600	9600
Franja central	1655	3310	4960	11650
<b>Mom. negativo total</b>	<b>8225</b>	<b>11835</b>	<b>16070</b>	<b>20520</b>
<b>Mom. positivo total</b>	<b>4895</b>	<b>10500</b>	<b>14560</b>	<b>21250</b>
<b>Momento total</b>	<b>13120</b>	<b>22335</b>	<b>30630</b>	<b>41770</b>
<b>Mom. total ACI</b>	<b>11700</b>	<b>19850</b>	<b>27200</b>	<b>44900</b>
<b>Mom. total Nichols</b>	<b>16300</b>	<b>27600</b>	<b>37700</b>	<b>62500</b>
$M_0/wl(1 - \frac{2}{3} \frac{c}{l})^2$	0.1005	0.101	0.101	0.0835

Edificio Schulze Baking Company. Momentos en Kg - m, para diferentes etapas de carga

TABLA 18

Carga	923	1560	2130	3530	ACI
<b>Momentos Negativos</b>					
Franja de columnas	53.0	48.0	44.3	43.2	50
Franja central	8.7	5.1	8.2	6	15
<b>Momentos Positivos</b>					
Franja de columnas	24.8	32.2	31.3	23.0	20
Franja central	12.6	14.8	16.2	28.0	15
<b>Mom. negativo total</b>	<b>61.7</b>	<b>53.1</b>	<b>52.5</b>	<b>49.2</b>	<b>65</b>
<b>Mom. positivo total</b>	<b>37.4</b>	<b>47.0</b>	<b>47.5</b>	<b>51.0</b>	<b>35</b>
<b>Mom. total</b>	<b>100.1</b>	<b>100.1</b>	<b>100.0</b>	<b>100.2</b>	<b>100</b>

Edificio Schulze Baking Company. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga

TABLA 19

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Líneas de medición												Promedio	
	154		155		156		129		117		106			
	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.
980	190	1490	169	1320	169	1320	210	1620	106	830	345	1860	198	1407
1960	358	1900	337	1860	337	1860	337	1860	337	1860	358	1900	344	1873
2440	675	2000	590	1970	590	1970	506	1940	485	1900	823	2100	611	1980

Edificio Curtis - Leger Company. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 4.

TABLA 20

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Líneas de medición														Promedio	
	1		2		3		5		6		7		8			
	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.
980	105	1790	485	4000	317	3960	317	3960	106	1790	85	1440	42	718	208	1720
1960	169	2870	422	4000	317	3960	422	4000	169	2870	190	3230	148	2520	262	2100
2440	253	3650	443	4000	317	3960	507	4050	317	3970	169	2870	210	3580	316	2100

Edificio Curtis - Leger Company. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 1.

TABLA 21

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Líneas de medición										Promedio	
	10		11		13		14		16			
	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.	sin corr.	corr.
980	148	2340	126	2010	169	2670	211	3330	148	2340	160	2082
1960	317	3370	337	3370	528	3440	422	3400	317	3370	384	2100
2440	611	3510	632	3510	887	3650	740	3580	611	3510	696	2100

Edificio Curtis - Leger Company. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la zona 2

TABLA 22

Carga	980	1960	2440
<b>Momentos Negativos</b>			
Franja columnas	6110	7050	7320
Franja central			
<b>Momentos Positivos</b>			
Franja columnas	5420	5700	5700
Franja central	3720	4540	4540
<b>Mom. negativo total</b>	6110	7050	7320
<b>Mom. positivo total</b>	9140	10240	10240
<b>Momento total</b>	15250	17290	17560
<b>Mom. Total ACI</b>	11500	23000	28800
<b>Mom. Total Nichols</b>	16000	31900	40000
$M_0/wl(1 - \frac{2c_1^2}{3l^2})$	0.119	0.0677	0.0547

Edificio Curtis-Leger Company. Momentos en Kg·m para diferentes etapas de carga.

TABLA 23

Carga	980	1960	2440	ACI
<b>Momentos Negativos</b>				
Franja columnas	40.2	40.8	41.8	46
Franja central				16
<b>Momentos Positivos</b>				
Franja columnas	35.5	33.0	32.4	22
Franja central	24.3	26.2	25.8	16
<b>Mom. negativo total</b>	40.2	40.8	41.8	62
<b>Mom. positivo total</b>	59.8	59.2	58.2	38
<b>Momento total</b>	100.0	100.0	100.0	100

Edificio Curtis-Leger Company. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga.

TABLA 24

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	1125	2150	3120	4200	4550
Mom. Negativo Total	11300	20300	29300	38400	43200
Mom. Positivo Total	7130	12800	16300	19400	20500
Momento Total	18430	33100	45600	57800	63700

Edificio Western Newspaper Union. Momentos en Kg-m para diferentes etapas de carga

TABLA 25

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	1125	2150	3120	4200	4550
Mom. Negativo Total	0.081	0.078	0.077	0.075	0.078
Mom. Positivo Total	0.051	0.049	0.043	0.038	0.037
Momento Total	0.132	0.127	0.120	0.113	0.115

Edificio Western Newspaper Union. Valores del coeficiente  $M_0/wl(1 - \frac{2c}{3l})^2$

TABLA 26

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	1125	2150	3120	4200	4550	ACI
Mom. Negativo Total	61	61	64	66	68	62
Mom. Positivo Total	39	39	36	34	32	38
Momento Total	100	100	100	100	100	100

Edificio Western Newspaper Union. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga.

$f_s$	1400	2100	2670	ACI
<b>Momentos Negativos</b>				
Franja columnas	37	35.5	38.5	50
Franja central	13	13.5	12.5	15
<b>Momentos Positivos</b>				
Franja columnas	30	30.2	30.0	20
Franja central	20	20.8	20.0	15
<b>Mom. Negativo Total</b>	<b>50</b>	<b>49.0</b>	<b>50.0</b>	<b>65</b>
<b>Mom. Positivo Total</b>	<b>50</b>	<b>51.0</b>	<b>50.0</b>	<b>35</b>
<b>Momento Total</b>	<b>100</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100</b>
$M_0/wl(1 - \frac{2c}{3T})^2$	0.212	0.149	0.123	0.09

Edificio Sanitary Can. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga.

TABLA 28

$f_s$	1335	2040	2250	ACI
<b>Momentos Negativos</b>				
Franja columnas	39.5	42.0	45.5	50
Franja central	10.0	9.7	8.5	15
<b>Momentos Positivos</b>				
Franja columnas	26.6	25.7	25.2	20
Franja central	24.9	24.6	23.7	15
<b>Mom. Negativo Total</b>	<b>49.5</b>	<b>51.7</b>	<b>54.0</b>	<b>65</b>
<b>Mom. Positivo Total</b>	<b>51.5</b>	<b>50.3</b>	<b>48.9</b>	<b>35</b>
<b>Momento Total</b>	<b>101.0</b>	<b>102.0</b>	<b>102.9</b>	<b>100</b>
$M_0/wl(1 - \frac{2c}{3T})^2$	0.211	0.155	0.127	0.09

Edificio Shank. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga.

TABLA 29

$f_s$	2600	3500	ACT
Momentos Negativos			
Franja columnas	38.5	43.0	46
Franja central			16
Momentos Positivos			
Franja columnas	30.8	29.0	22
Franja central	30.7	28.0	16
Mom. Negativo Total	38.5	43.0	62
Mom. Positivo Total	61.5	57.0	38
Momento Total	100.0	100.0	100
$M_0/wl(1 - \frac{2}{3} \frac{c}{l})^2$	0.114	0.100	0.09

Bodega Bell Street. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga.

TABLA 30

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Ext. Negativo	Positivo	Int. Negativo
733	870	1140	1345
1465	1260	1670	1950
2100	1520	1925	2630
2880	1820	2440	2800

Ensayo de Purdue, Losa J. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la franja de columnas perpendicular a la viga de borde (tablero exterior).

TABLA 31

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Ext. Negativo	Positivo	Int. Negativo
733	2430	2350	2780
1465	2800	2800	2800
2100	2800	2800	2800
2880	2800	2800	2800

Ensayo de Purdue, Losa J. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la franja central del tablero exterior, (perpendicular a la viga de borde).

TABLA 32

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Positivo	Negativo
733	1410	2800
1465	2800	2800
2100	2800	2800
2880	2800	2800

Ensayo de Purdue, Losa J. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la franja adyacente al borde del tablero exterior (paralela a la viga de borde).

TABLA 33

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Positivo	Negativo
733	1640	1480
1465	1950	2060
2100	1760	2530
2880	2790	2740

Ensayo de Purdue, Losa J. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la franja de columnas del tablero interior.

TABLA 34

Carga Kg/m <sup>2</sup>	Positivo	Negativo
733	2620	2800
1465	2800	2800
2100	2800	2800
2880	2800	2800

Ensayo de Purdue, Losa J. Esfuerzos en Kg/cm<sup>2</sup> en la franja central del Tablero interior.

TABLA 35

Carga	733	1465	2100	2880
<b>Momentos Negativos</b>				
Franja columnas	5500	7680	9400	10200
Franja central	1960	1960	1960	1960
<b>Momentos Positivos</b>				
Franja columnas	3325	3950	4800	5660
Franja central	1900	2320	2320	2320
Mom. Negativo Total	7460	9640	11360	12160
Mom. Positivo Total	5225	6270	7120	7980
Momento Total	12685	15910	18480	20140
Mom. Total ACI	7290	14600	20800	28500
Mom. Total Nichols	10100	20200	29000	39500
$M_0/wl(1 - \frac{2}{3} \frac{c}{l})^2$	0.157	0.098	0.080	0.063

Ensayo de Purdue, Losa J. Momentos en Kg - m para diferentes etapas de carga. Tablero interior.

TABLA 36

Carga	733	1465	2100	2880	ACI
<b>Momentos Negativos</b>					
Franja columnas	43.3	48.2	50.9	50.9	50
Franja central	15.4	12.3	10.6	9.8	15
<b>Momentos Positivos</b>					
Franja columnas	26.1	24.8	26.0	28.2	20
Franja central	15.2	14.7	12.5	11.1	15
Mom. Negativo Total	58.7	60.5	61.5	60.7	65
Mom. Positivo Total	41.3	39.5	38.5	39.3	35
Momento Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100

Ensayo de Purdue, Losa J. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga. Tablero interior.

TABLA 37

Carga	733	1465	2100	2880
<b>Momentos Negativos</b>				
Franja columnas ext.	2830	4100	5150	5950
Franja central ext.	1020	1235	1235	1235
Franja columnas int.	5670	7800	11100	11850
Franja central int.	1660	2150	2150	2150
<b>Momentos Positivos</b>				
Franja columnas	1980	2900	3350	4250
Franja central	2160	2880	2880	2880
Mom. Neg. ext. Total	3850	5335	6385	7185
Mom. Neg. Int. Total	6690	9035	12335	13085
Momento Negativo Prom.	5270	7185	9360	10135
Momento Positivo Total	4140	5780	6230	7130
Momento Total	9410	12965	15590	17265

Ensayo de Purdue, Losa J. Momentos en Kg - m para diferentes etapas de carga. Tablero de borde, dirección perpendicular al borde.

TABLA 38

Carga	733	1465	2100	2880	ACI
<b>Momentos Negativos</b>					
Franja columnas ext.	30.0	31.8	32.6	34.5	36
Franja central ext.	10.8	9.6	7.9	7.2	20
Franja columnas int.	60.0	60.2	71.1	68.8	56
Franja central int.	17.6	16.6	13.8	12.4	17
<b>Momentos Positivos</b>					
Franja columnas	21.0	22.4	21.5	24.6	24
Franja central	22.9	22.3	18.5	16.7	20
Mom. Neg. ext. Total	40.8	41.4	40.5	41.7	56
Mom. Neg. Int. Total	77.6	76.8	84.9	81.2	73
Mom. Neg. Promedio	56.1	55.3	60.0	58.7	64.5
Momento Positivo Total	43.9	44.7	40.0	41.3	44
Momento Total	100.0	100.0	100.0	100.0	108.5

Ensayo de Purdue, Losa J. Porcentajes del momento total para diferentes etapas de carga. Tablero de borde, dirección perpendicular al borde

<b>Carga</b>	<b>733</b>
<b>Momentos Negativos</b>	
Franja columnas	4770
Franja central	1710
<b>Momentos Positivos</b>	
Franja Columnas	2180
Franja central	1670
<b>Mom. Negativo Total</b>	<b>6480</b>
<b>Mom. Positivo Total</b>	<b>3850</b>
<b>Mom. Total</b>	<b>10330</b>
<b>Mom. Total ACI</b>	<b>7290</b>
<b>Mom. Total Nichols</b>	<b>10100</b>

Ensaye de Purdue, Losa S. Momentos en Kg-m.

TABLA 40

<b>Carga</b>	<b>733</b>	<b>ACI</b>
<b>Momentos Negativos</b>		
Franja columnas	46.0	50
Franja central	16.6	15
<b>Momentos Positivos</b>		
Franja columnas	21.2	20
Franja central	16.2	15
<b>Mom. Negativo Total</b>	<b>62.6</b>	<b>65</b>
<b>Mom. Positivo Total</b>	<b>37.4</b>	<b>35</b>
<b>Momento Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100</b>

Ensaye de Purdue, Losa S. Porcentajes del momento total

TABLA 41

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	Momentos en Kg-m		
	Obtendidos	ACI	Nichols
179	598	414	598
376	1166	1000	1380
558	1914	1520	1930
778	2791	2200	2900
961	3505	2620	3600
1155	4107	3150	4300

Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en el tablero interior

TABLA 42

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	179	376	558	778	961	1155
<b>Momentos Negativos</b>						
Franja columnas	258	484	808	1155	1420	1670
Franja central	151	303	525	761	971	1090
<b>Momentos Positivos</b>						
Franja columnas	112	219	343	515	622	708
Franja central	77	160	238	360	490	639
<b>Mom. Negativo Total</b>	<b>409</b>	<b>787</b>	<b>1333</b>	<b>1916</b>	<b>2391</b>	<b>2760</b>
<b>Mom. Positivo Total</b>	<b>189</b>	<b>379</b>	<b>581</b>	<b>875</b>	<b>1112</b>	<b>1347</b>
<b>Momento Total</b>	<b>598</b>	<b>1166</b>	<b>1914</b>	<b>2791</b>	<b>3503</b>	<b>4107</b>

Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos en Kg - m en el tablero interior.

TABLA 43

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	179	376	558	778	961	1155	ACI
<b>Momentos Negativos</b>							
Franja columnas	43.2	41.5	42.2	41.4	40.4	40.7	50
Franja central	25.2	26.0	27.5	27.2	27.7	26.6	15
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	18.8	18.8	17.9	18.5	17.9	17.1	20
Franja central	12.8	13.7	12.4	12.9	14.0	15.6	15
<b>Momento Neg. Total</b>	<b>68.4</b>	<b>67.5</b>	<b>69.7</b>	<b>68.6</b>	<b>68.1</b>	<b>67.3</b>	<b>65</b>
<b>Mom. Positivo Total</b>	<b>31.6</b>	<b>32.5</b>	<b>30.3</b>	<b>31.4</b>	<b>31.9</b>	<b>32.7</b>	<b>35</b>
<b>Momento Total</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.9</b>	<b>100.0</b>	<b>100</b>

Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Coeficientes de distribución en el tablero interior.

TABLA 44

Carga	179	376	558	778	961	1155
Momentos obtenidos	655	1311	2068	2933	3973	5077
Momentos ACI	690	1660	2500	3450	4200	5182

Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en el tablero F paralelo a la viga rígida.

TABLA 45

Carga	179	376	558	778	961	1155
Momentos obtenidos	819	1760	2636	3554	4181	5107
Momentos ACI	690	1520	2200	3170	3900	4735

Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en el tablero B paralelo a la viga flexible.

TABLA 46

Carga	179	376	558	778	961	1155
Momentos obtenidos	698	1427	2256	2743	3224	3948
Momentos ACI	415	1050	1660	2350	2900	3477

Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en el tablero F perpendicular a la viga rígida.

TABLA 47

Carga	179	376	558	778	961	1155
Momentos obtenidos	634	1328	2043	2682	3335	4115
Momentos ACI	413	1030	1650	2270	2850	3443

Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en el tablero B perpendicular a la viga flexible.

Carga	179	376	558	778	961	1155
Momentos obtenidos	746	1445	2404	3353	4420	5524
Momentos ACI	746	1580	2404	3450	4275	5128

Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois, Momentos totales en el tablero J (tablero de esquina).

TABLA 49

Carga	179	376	558	778	961	1155
Momentos obtenidos	791	1873	2748	3672	4574	5595
Momentos ACI	690	1520	2210	3100	3850	4664

Losa plana ensayada en la Universidad de Illinois. Momentos totales en el tablero A (tablero de esquina).

TABLA 50

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	179	376	558	778	961	1155	ACI
<b>Momentos Negativos:</b>							
Franja columnas	128	254	461	630	777	929	897
Franja central	117	244	361	542	738	947	542
Franja de borde	142	277	450	592	689	840	447
Viga	65	143	217	329	530	865	1458
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	58	123	188	265	322	358	320
Franja central	76	148	215	318	528	619	479
Franja de borde	25	39	52	73	117	151	159
Viga	44	83	124	184	272	368	880
Mom. Negativo Total	452	918	1489	2093	2734	3581	3344
Mom. Positivo Total	203	393	579	840	1239	1496	1838
Momento Total	655	1311	2068	2933	3973	5077	5182

Losa plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde paralelo a la viga rígida. Momentos en Kg-m para diferentes etapas de carga

TABLA 51

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	179	376	558	778	961	1155	ACI
<b>Momentos Negativos</b>							
Franja columnas	19.6	19.3	22.3	21.5	19.5	18.3	17.3
Franja central	17.9	18.6	17.5	18.5	18.6	18.7	10.5
Franja de borde	21.7	21.1	21.7	20.2	17.3	16.5	8.6
Viga	9.9	11.0	10.5	11.2	13.4	17.1	28.1
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	8.8	9.4	9.1	9.0	8.1	7.1	6.2
Franja central	11.6	11.3	10.4	10.9	13.3	12.2	9.2
Franja de borde	3.8	2.9	2.5	2.5	3.0	3.0	3.1
Viga	6.7	6.3	6.0	6.3	6.8	7.3	17.0
Mom. Negativo Total	69.1	70.1	72.0	71.4	68.8	70.6	64.5
Mom. Positivo Total	30.9	29.9	28.0	28.6	31.2	29.4	35.5
Momento Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Losas planas experimentales de concreto reforzado ensayadas en la Universidad de Illinois. Tablero de borde paralelo a la viga rígida. Coeficientes de distribución del momento total.

TABLA 52

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	179	376	558	778	961	1155	ACI
<b>Momentos Negativos</b>							
Franja columnas	134	292	495	624	753	901	895
Franja central	152	384	460	667	752	841	542
Franja de borde	171	356	499	610	771	931	872
Viga	40	120	230	352	405	660	810
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	91	184	270	318	338	401	320
Franja central	135	255	393	580	650	778	478
Franja de borde	47	88	144	217	267	294	324
Viga	49	81	145	186	245	301	494
Mom. Negativo Total	497	1152	1684	2253	2681	3333	3119
Mom. Positivo Total	322	608	952	1301	1500	1774	1616
Momento Total	819	1760	2636	3554	4181	5107	4735

Losas planas experimentales de concreto reforzado ensayadas en la Universidad de Illinois. Tablero de borde paralelo a la viga flexible. Momentos en Kg-m para diferentes etapas de carga.

TABLA 53

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	179	376	558	778	981	1155	ACI
<b>Momentos Negativos</b>							
Franja columnas	16.3	16.5	18.8	17.5	18.0	17.6	18.9
Franja central	18.5	21.6	17.4	18.8	18.0	16.5	11.5
Franja de borde	20.9	20.1	19.0	17.1	18.5	18.2	18.4
Viga	4.9	6.8	8.7	9.9	9.7	12.9	17.1
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	11.1	10.3	10.2	9.0	8.1	7.9	6.8
Franja central	16.5	14.4	14.9	16.3	15.5	15.2	10.1
Franja de borde	5.7	5.0	5.5	6.1	6.4	5.7	6.8
Viga	6.1	4.6	5.5	5.2	5.9	5.9	10.4
Mom. Neg. Total	60.6	65.7	63.9	63.4	64.1	65.3	65.9
Mom. Positivo Total	39.4	34.3	36.1	36.6	35.9	34.7	34.1
Momento Total	100.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Losa plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde paralelo a la viga flexible. Coeficientes de distribución del momento total.

TABLA 54

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	176	367	588	830	930	1175	ACI
<b>Momentos Negativos</b>							
Franja columnas Exterior	151	316	428	570	730	1180	1150
Franja central Exterior	52	110	150	223	252	310	640
Franja columnas Interior	365	692	1060	1325	1610	1920	1795
Franja central Interior	156	313	465	635	837	1020	543
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	180	374	615	702	800	911	768
Franja central	156	338	590	665	710	822	640
Mom. Neg. Total Ext.	203	426	578	793	982	1490	1790
Mom. Neg. Total Int.	521	1005	1525	1960	2447	2940	2338
Mom. Neg. Promedio	362	715	1051	1376	1714	2215	2069
Mom. Positivo Total	336	712	1205	1367	1510	1733	1408
Momento Total	698	1427	2256	2743	3224	3948	3477

Losa plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde perpendicular a la viga rígida. Momentos en Kg-m para diferentes etapas de carga.

TABLA 55

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	176	367	588	830	930	1175	ACI
<b>Momentos Negativos</b>							
Franja columnas Exterior	21.5	22.1	18.9	20.7	22.7	29.9	33.1
Franja central Exterior	7.5	7.7	6.7	8.1	7.8	7.9	18.4
Franja columnas Interior	52.3	48.5	47.0	48.3	49.9	48.5	51.7
Franja central Interior	22.3	21.9	20.6	23.1	25.9	25.9	15.7
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	25.6	26.2	27.3	25.6	24.8	23.1	22.1
Franja central	22.5	23.7	26.1	24.3	22.1	20.9	18.4
Mom. Neg. Total Ext.	29.0	29.8	25.6	28.8	30.5	37.8	51.5
Mom. Neg. Total Int.	74.6	70.4	67.6	71.4	75.8	74.4	67.4
Mom. Neg. Promedio	51.9	50.1	46.6	50.1	53.1	56.0	59.5
Mom. Positivo Total	48.1	49.9	53.4	49.9	46.9	44.0	40.5
Momento Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Losa plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde perpendicular a la viga rígida. Coeficientes de distribución del momento total.

TABLA 56

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	176	367	588	830	930	1175	ACI
<b>Momentos Negativos</b>							
Franja columnas Exterior	99	200	298	474	770	904	1380
Franja central Exterior	22	50	80	99	121	146	353
Franja columnas Interior	337	688	991	1345	1520	1930	1795
Franja central Interior	166	337	509	670	973	1130	543
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	177	368	567	709	833	1030	768
Franja central	145	323	537	679	810	1030	640
Mom. Neg. Total Ext.	121	250	378	573	891	1050	1733
Mom. Neg. Total Int.	503	1025	1500	2015	2493	3060	2338
Mom. Neg. Promedio	312	637	939	1294	1692	2055	2035
Mom. Pos. Total	322	691	1104	1388	1643	2060	1408
Momento Total	634	1328	2043	2682	3335	4115	3443

Losa plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde perpendicular a la viga flexible. Momentos en Kg-m para diferentes etapas de carga.

TABLA 57

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	176	367	588	830	930	1175	ACI
<b>Momentos Negativos</b>							
Franja columnas Exterior	15.7	15.1	14.6	17.7	22.9	22.0	40.2
Franja central Exterior	3.5	3.7	3.9	3.7	3.6	3.6	10.3
Franja columnas Interior	53.2	51.8	48.6	50.2	48.2	46.9	52.0
Franja central Interior	26.1	25.4	24.9	25.0	27.5	27.4	15.8
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	27.9	27.8	27.8	26.4	24.8	25.0	22.3
Franja central	22.9	24.3	26.2	25.3	24.1	25.1	18.6
Mom. Neg. Total Ext.	19.2	18.8	18.5	21.4	26.5	25.6	50.5
Mom. Neg. Total Int.	79.3	77.2	73.5	75.2	75.7	74.3	67.8
Mom. Neg. Promedio	49.2	47.9	46.0	48.3	51.1	49.9	59.2
Mom. Positivo Total	50.8	52.1	54.0	51.7	48.9	50.1	40.8
Momento Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Losa plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de borde perpendicular a la viga flexible. Coeficientes de distribución del momento total.

TABLA 58

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	179	376	558	778	961	1155	ACI
<b>Momentos Neg. Exteriores</b>							
Franja columnas	65	127	218	284	440	489	575
Franja central	55	99	138	162	193	266	640
Franja de borde	39	65	105	176	228	281	255
Viga	44	58	145	257	561	900	909
<b>Momentos Neg. Interiores</b>							
Franja columnas	143	288	543	686	854	1025	896
Franja central	106	222	323	517	680	828	543
Franja de borde	139	273	441	585	685	838	447
Viga	108	200	345	552	911	1370	1450
Mom. Neg. Total Ext.	203	349	606	879	1422	1936	2379
Mom. Neg. Total Int.	496	983	1652	2340	3130	4061	3336
Mom. Neg. Promedio	349	666	1129	1609	2276	2999	2857
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	95	203	309	360	418	490	384
Franja central	150	306	512	640	725	828	640
Franja de borde	43	83	130	207	236	289	207
Viga	109	187	324	537	765	918	1040
Momento Positivo Total	397	779	1275	1744	2144	2525	2271
Momento Total	746	1445	2404	3353	4420	5524	5128

Losa plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de esquina adyacente a las vigas rígidas. Momentos en Kg-m para diferentes etapas de carga.

TABLA 59

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	179	376	558	778	961	1155	ACI
<b>Momentos Neg. Exteriores</b>							
Franja columnas	8.7	8.8	9.1	8.5	10.0	8.8	11.2
Franja central	7.4	6.9	5.7	4.8	4.4	4.8	12.4
Franja de borde	5.2	4.5	4.4	5.3	5.2	5.1	5.0
Viga	5.9	4.0	6.0	7.6	12.7	16.3	17.8
<b>Momentos Neg. Interiores</b>							
Franja columnas	19.2	19.9	22.7	20.5	19.3	18.6	17.5
Franja central	14.2	15.3	13.4	15.4	15.4	15.0	10.6
Franja de borde	18.7	18.9	18.4	17.5	15.5	15.2	8.7
Viga	14.4	13.8	14.3	16.5	20.7	24.8	28.5
Mom. Neg. Total Exterior	27.2	23.1	25.2	26.2	32.1	35.1	46.5
Mom. Neg. Total Int.	66.5	68.0	68.8	69.8	70.9	73.8	65.3
Mom. Neg. Promedio	46.8	46.0	47.0	48.0	51.5	54.2	55.9
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	12.8	14.1	12.9	10.7	9.5	8.9	7.5
Franja central	20.1	21.2	21.3	19.1	16.4	15.0	12.5
Franja de borde	5.7	5.7	5.4	6.2	5.3	5.2	4.1
Viga	14.6	13.0	13.5	16.0	17.3	16.6	20.3
Momento Positivo Total	53.2	54.0	53.0	52.0	48.5	45.8	44.1
Momento Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Losa plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de esquina adyacente a las vigas rígidas. Coeficientes de distribución del momento total.

TABLA 60

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	179	376	558	778	961	1155	ACI
<b>Momentos Neg. Exteriores</b>							
Franja columnas	41	108	162	310	433	479	693
Franja central	25	48	75	95	123	145	353
Franja de borde	46	95	154	186	217	247	610
Viga	84	186	269	340	412	483	509
<b>Momentos Neg. Interiores</b>							
Franja columnas	174	305	542	674	825	988	899
Franja central	152	310	471	681	852	1023	544
Franja de borde	174	359	501	613	780	951	875
Viga	99	217	416	719	1022	1350	811
Mom. Neg. Total Ext.	196	437	660	931	1185	1354	2165
Mom. Neg. Total Int.	599	1191	1930	2687	3479	4312	3129
Mom. Neg. Promedio	397	814	1295	1809	2332	2833	2647
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	96	220	315	361	389	554	384
Franja central	163	514	583	695	820	945	640
Franja de borde	55	150	238	297	335	368	413
Viga	80	175	317	510	698	895	580
Momento Positivo Total	394	1059	1453	1863	2242	2762	2017
Momento Total	791	1873	2748	3672	4574	5595	4664

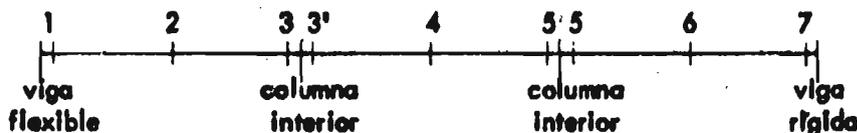
Losa plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de esquina adyacente a las vigas flexibles. Momentos en Kg-m para diferentes etapas de carga

TABLA 61

Carga en Kg/m <sup>2</sup>	179	376.	558	778	961	1155	ACI
<b>Momentos Neg. Exteriores</b>							
Franja columnas	5.2	5.7	6.0	8.4	9.4	8.6	14.9
Franja central	3.1	2.6	2.8	2.6	2.7	2.6	7.6
Franja de borde	5.7	5.1	5.8	5.1	4.7	4.4	13.1
Viga	10.6	9.9	10.0	9.2	9.0	8.6	10.9
<b>Momentos Neg. Internos</b>							
Franja columnas	22.0	16.3	20.2	18.3	18.0	17.6	19.3
Franja central	19.2	16.6	17.6	18.5	18.6	18.3	11.7
Franja de borde	22.0	19.1	18.7	16.7	17.1	17.0	18.7
Viga	12.5	11.6	15.5	19.5	22.3	24.2	17.4
Mom. Neg. Total Ext.	24.6	23.3	24.6	25.3	25.8	24.2	46.5
Mom. Neg. Total Int.	75.7	63.6	66.9	73.1	76.1	77.1	67.4
Mom. Neg. Promedio	50.2	43.4	45.8	49.2	51.0	50.6	66.8
<b>Momentos Positivos</b>							
Franja columnas	12.2	11.8	11.7	9.8	8.5	9.9	8.2
Franja central	20.6	27.4	21.8	19.0	18.0	16.9	13.8
Franja de borde	7.0	8.0	8.9	8.1	7.3	6.6	8.6
Viga	10.0	9.3	11.8	13.9	15.2	16.0	12.5
Momento Positivo Total	49.8	56.6	54.2	50.8	49.0	49.4	43.2
Momento Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Loseta plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois. Tablero de esquina adyacente a las vigas flexibles. Coeficientes de distribución del momento total.

TABLA 62



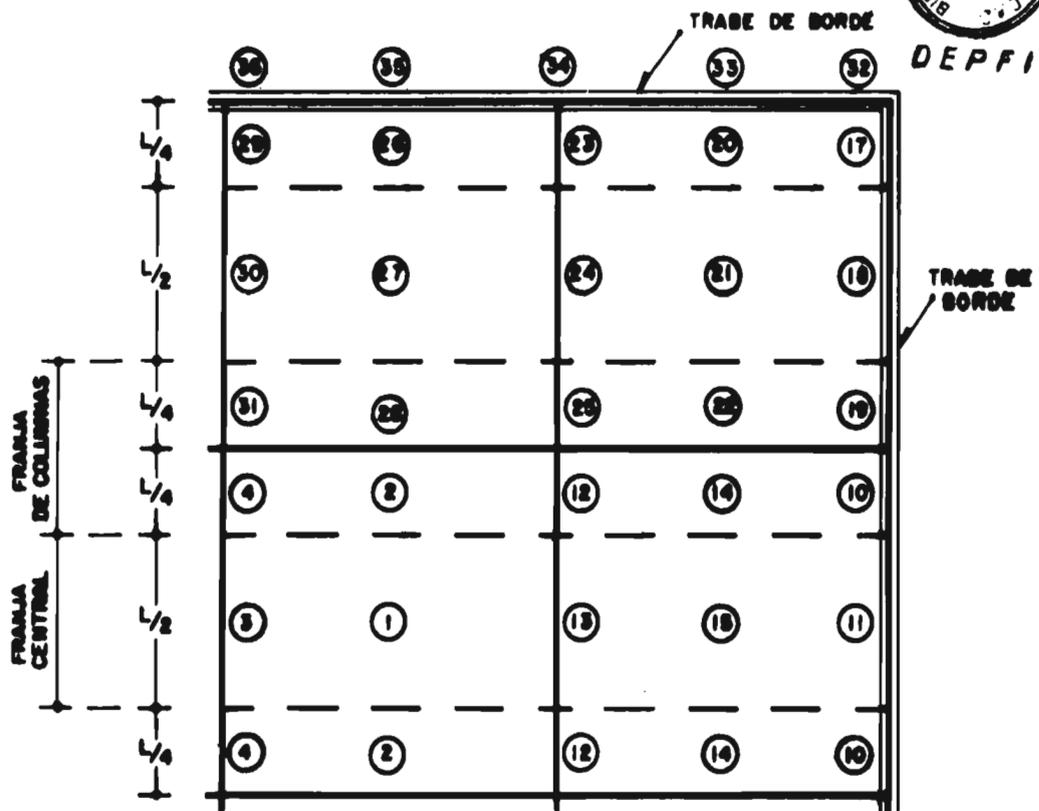
Sección	1	2	3	3'	4	5	5'	6	7
Coeficientes ACI	0.049	0.052	0.073	0.067	0.042	0.067	0.073	0.052	0.052
<b>Coeficientes obtenidos</b>									
carga de diseño	0.030	0.055	0.068	0.063	0.037	0.065	0.070	0.057	0.028
carga = 870 Kg/m <sup>2</sup>	0.033	0.049	0.079	0.079	0.029	0.070	0.073	0.053	0.030
carga de falla = 1760 Kg/m <sup>2</sup>	0.039	0.044	0.081	0.078	0.026	0.074	0.075	0.049	0.036

Placa Plana experimental de concreto reforzado ensayada en la Universidad de Illinois. Coeficientes de distribución del momento total.

Los números que aparecen en las figs. 2 a 12 y en las tablas, corresponden a los asignados a cada zona de la losa en esta fig.

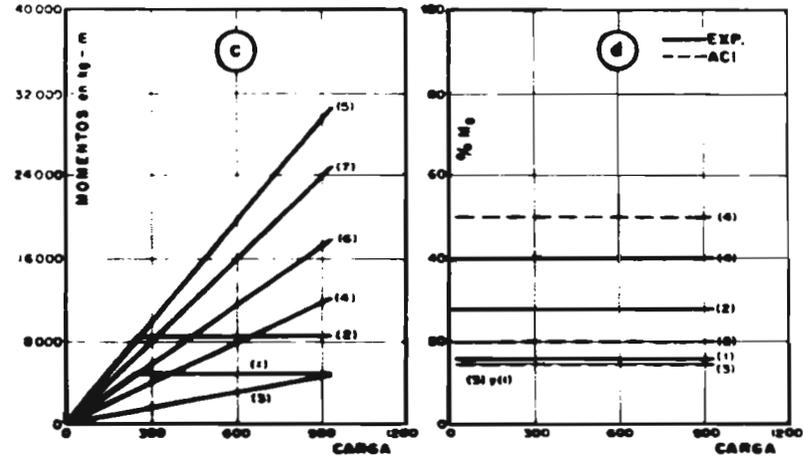
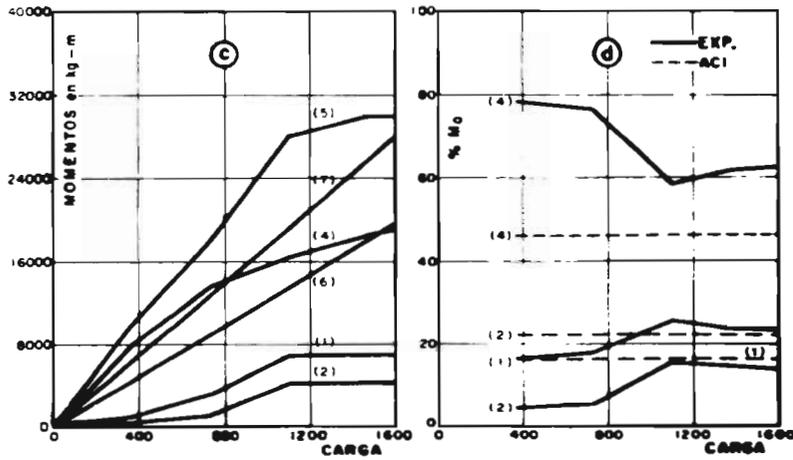
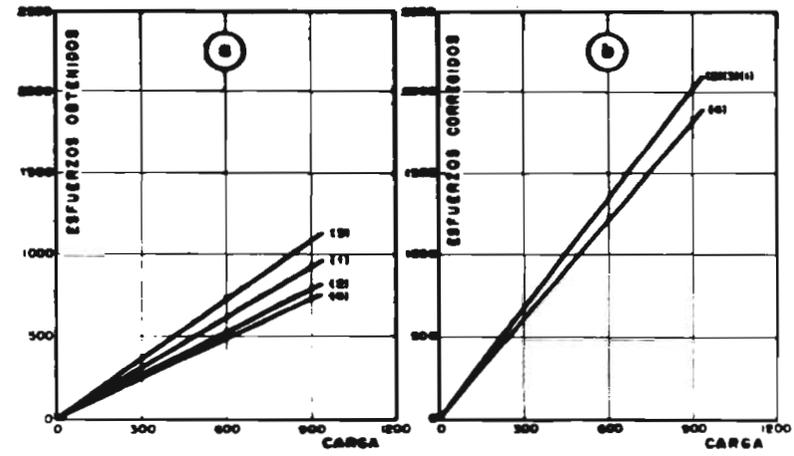
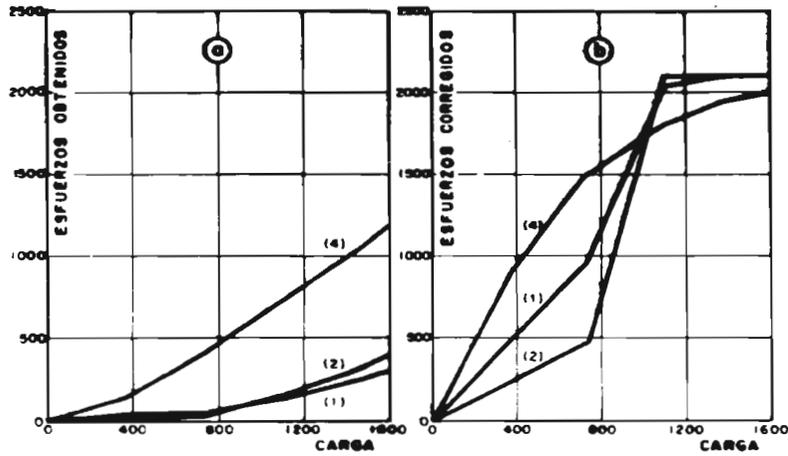
Ejemplos:

- (3) Zona de momentos negativos en la franja central de un tablero interior.
- (20) Zona de momentos positivos en la franja de borde de un tablero de esquina.
- (35) Zona de momentos positivos en la trabe de borde de un tablero exterior.



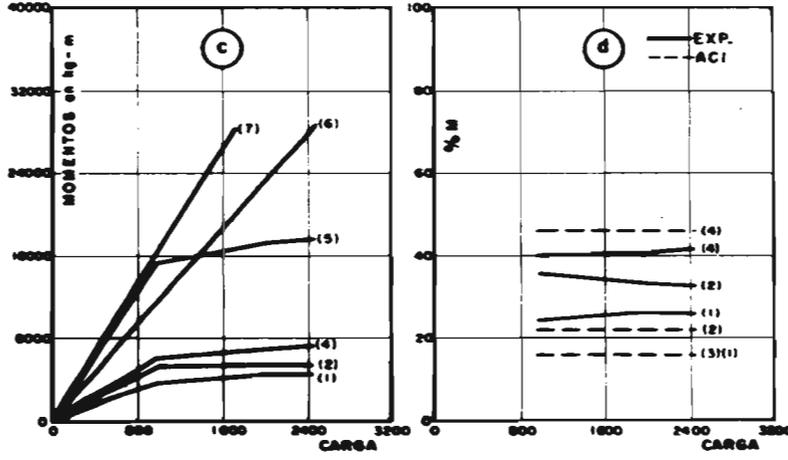
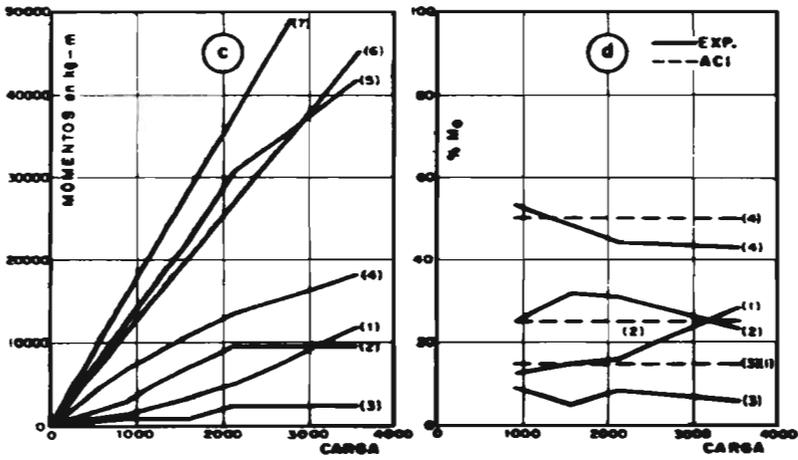
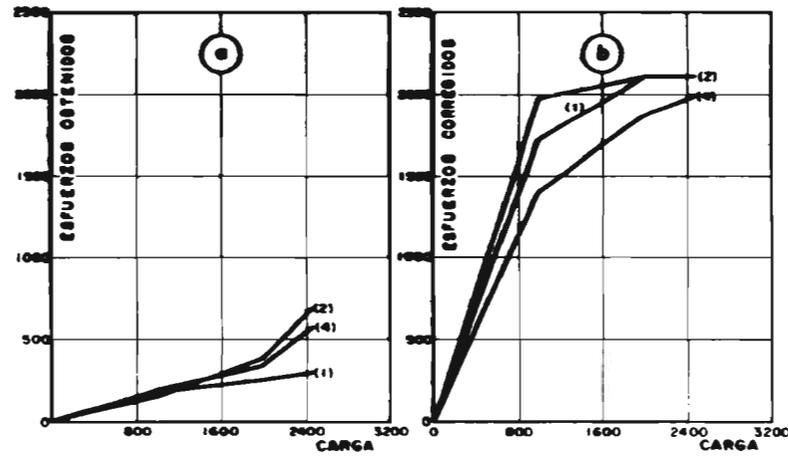
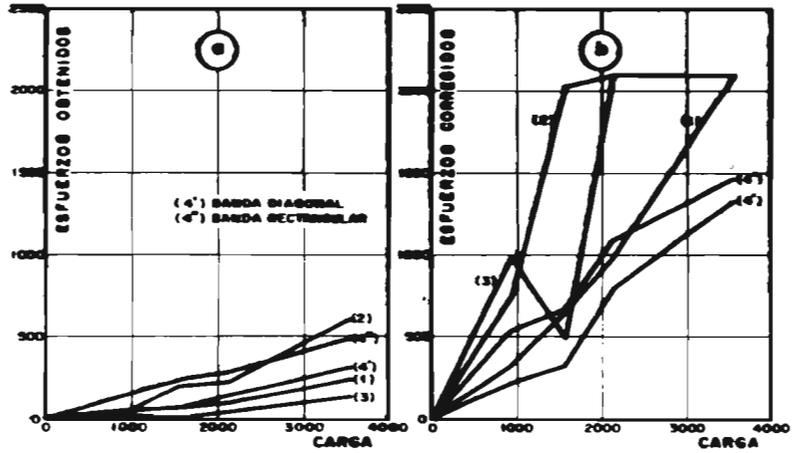
CLAVE PARA INTERPRETAR LAS TABLAS Y LAS FIGURAS

FIG. 1



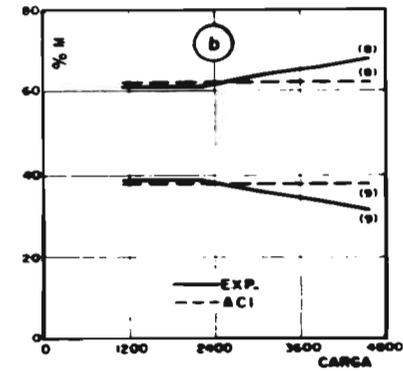
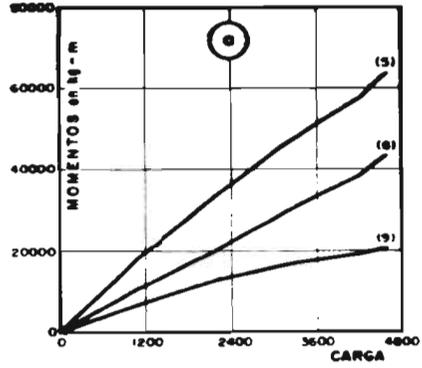
**EDIFICIO DEERE AND WEBBER**  
FIG. 2

**SHREDDED WHEAT FACTORY**  
FIG. 3

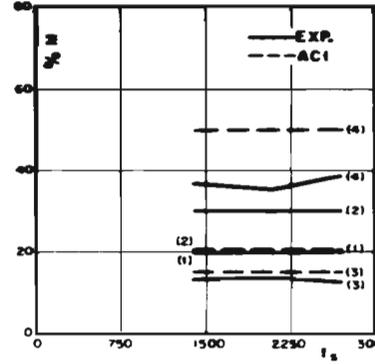


COMPANIA SCHULZE BAHRNS  
FIG. 4

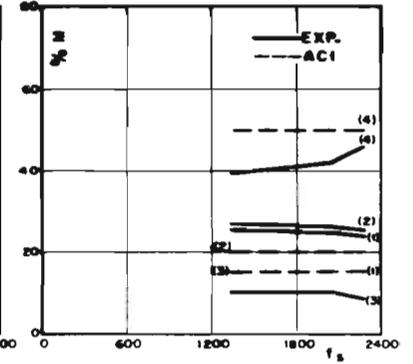
EDIFICIO CURTIS LEGER  
FIG. 5



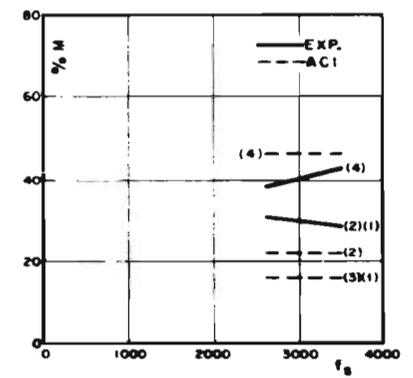
EDIFICIO WESTERN NEWSPAPER UNION  
FIG. 6



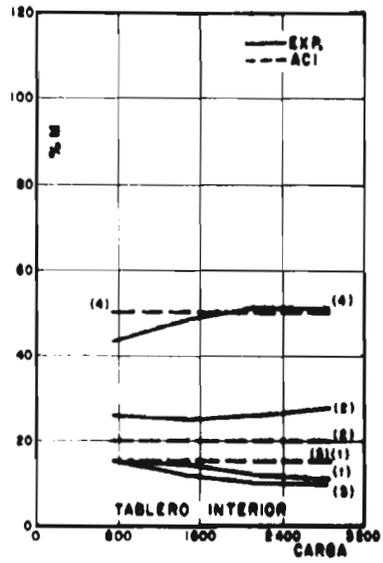
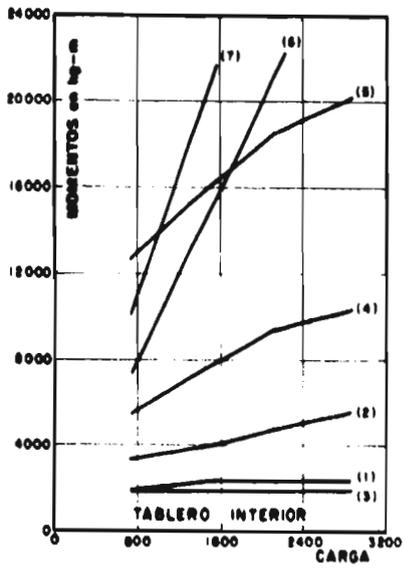
EDIFICIO SANITARY CAN  
FIG. 7



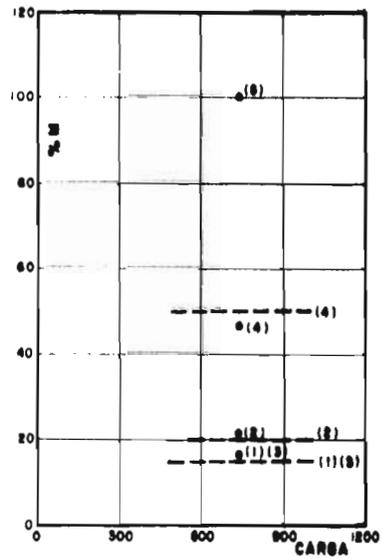
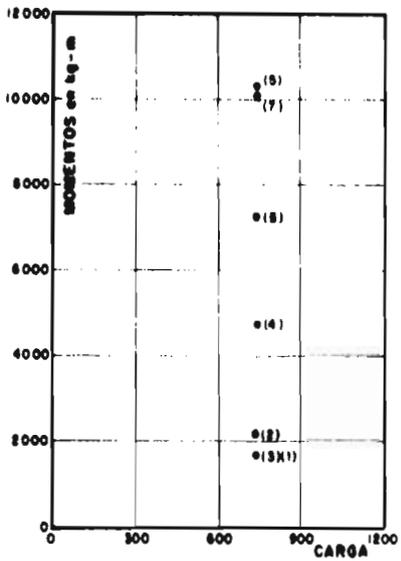
EDIFICIO SHANK  
FIG. 8



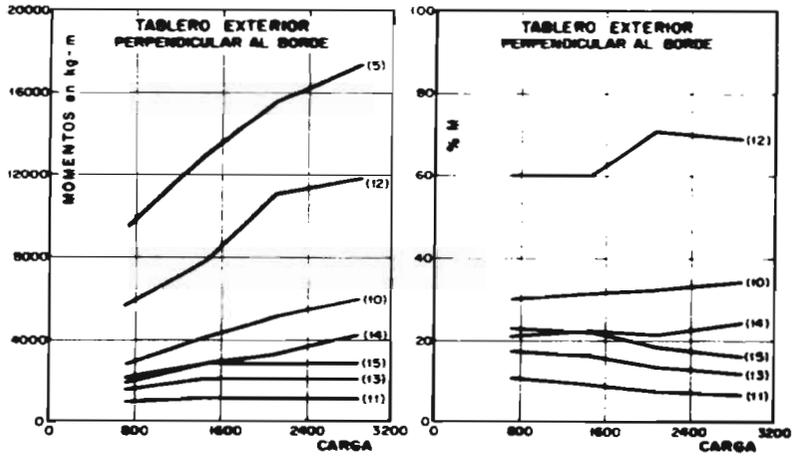
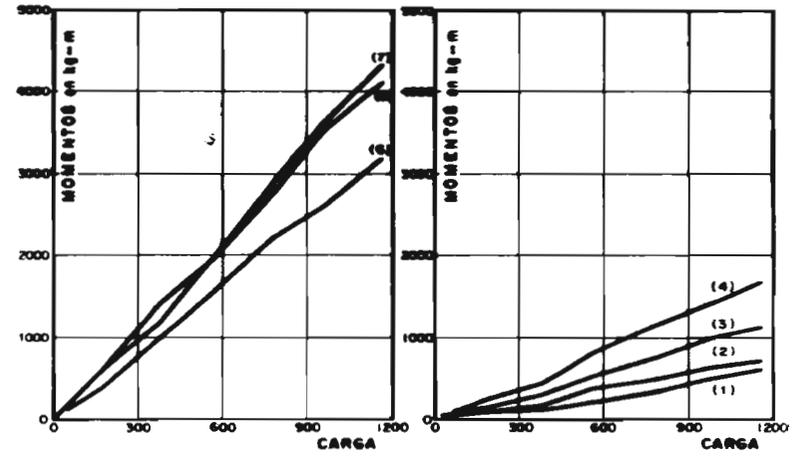
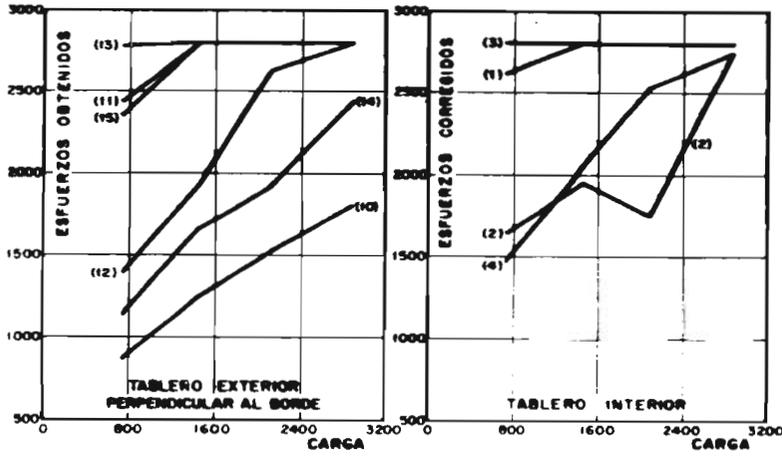
BODEGA BELL STREET  
FIG. 9



LOSA J  
FIG. 10-8

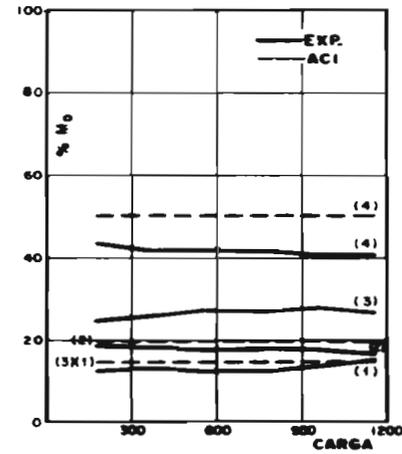


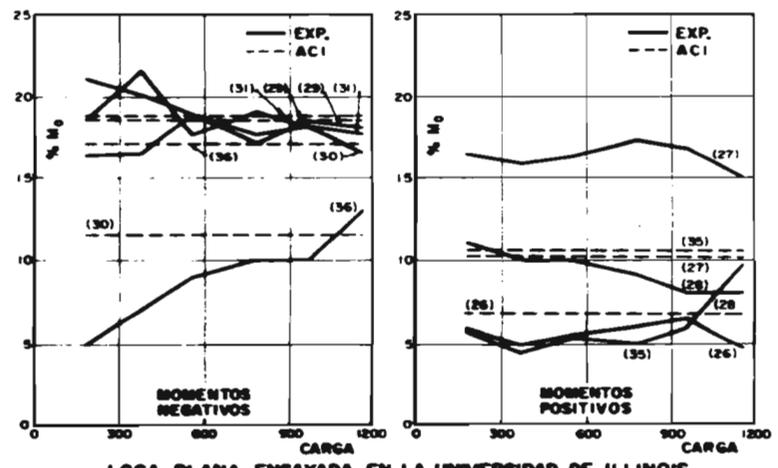
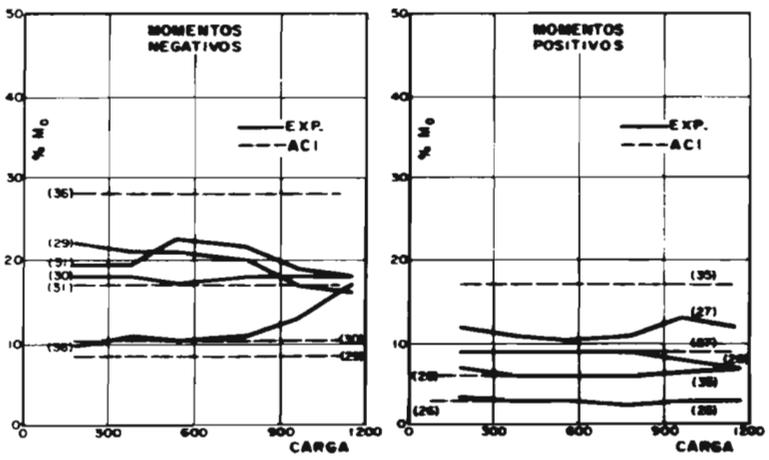
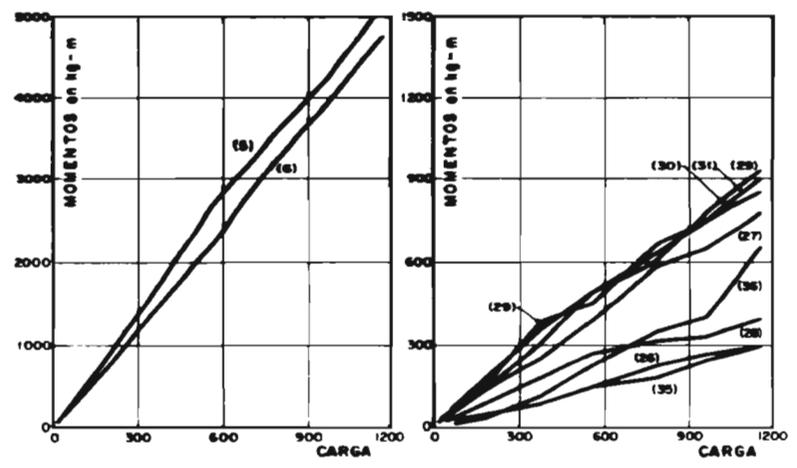
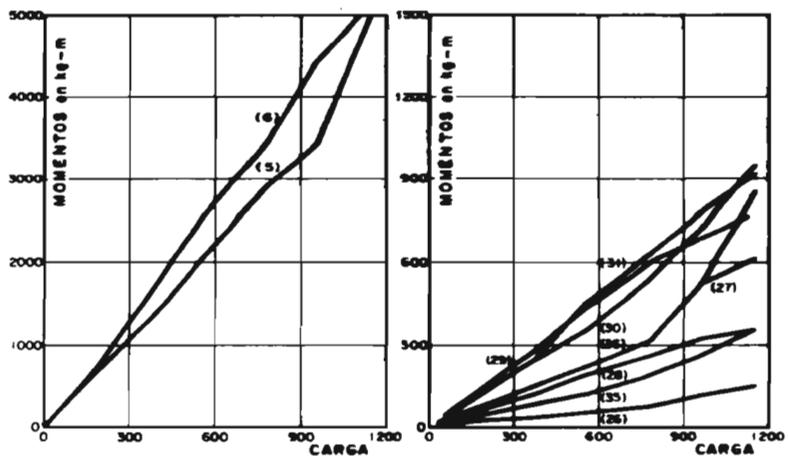
LOSA S  
FIG. 11



LOSA J  
FIG. 10 - A

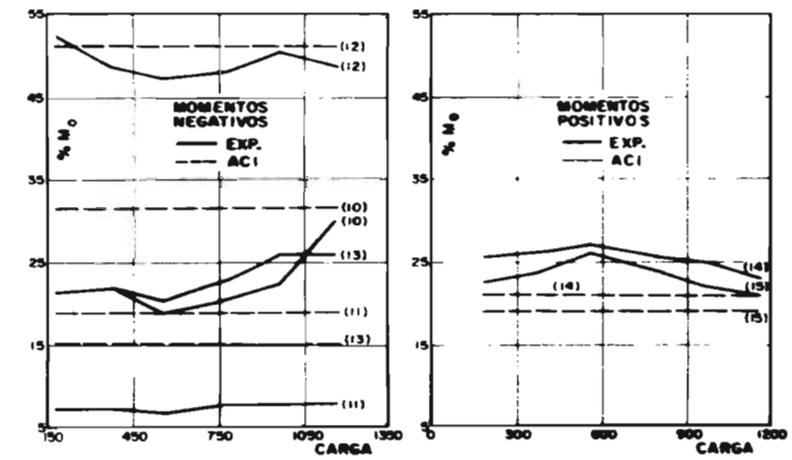
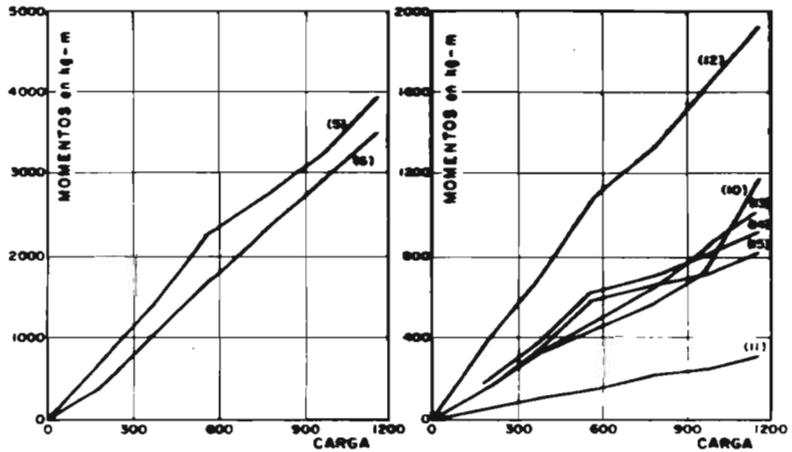
LOSA PLANA ENSAYADA EN LA UNIVERSIDAD ILLINOIS  
TABLERO INTERIOR  
FIG. 12 - A





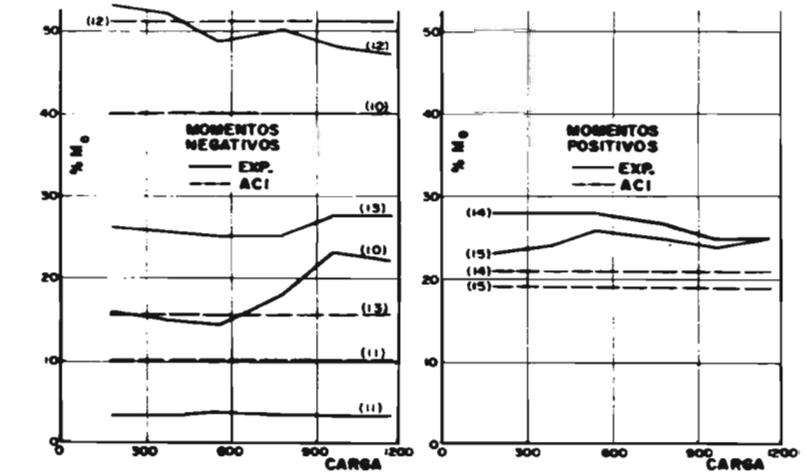
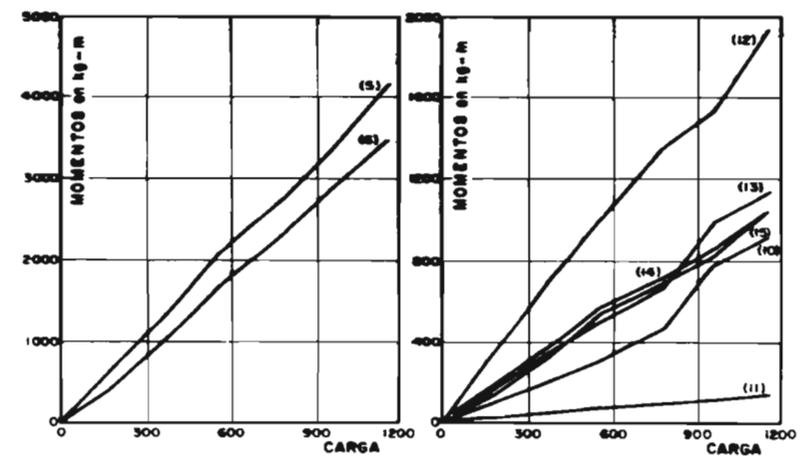
LOSA PLANA ENSAYADA EN LA UNIVERSIDAD ILLINOIS  
 TABLERO PARALELO A LA VIGA RIGIDA  
 FIG. 12 - B

LOSA PLANA ENSAYADA EN LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS  
 TABLERO PARALELO A LA VIGA FLEXIBLE  
 FIG. 12 - C



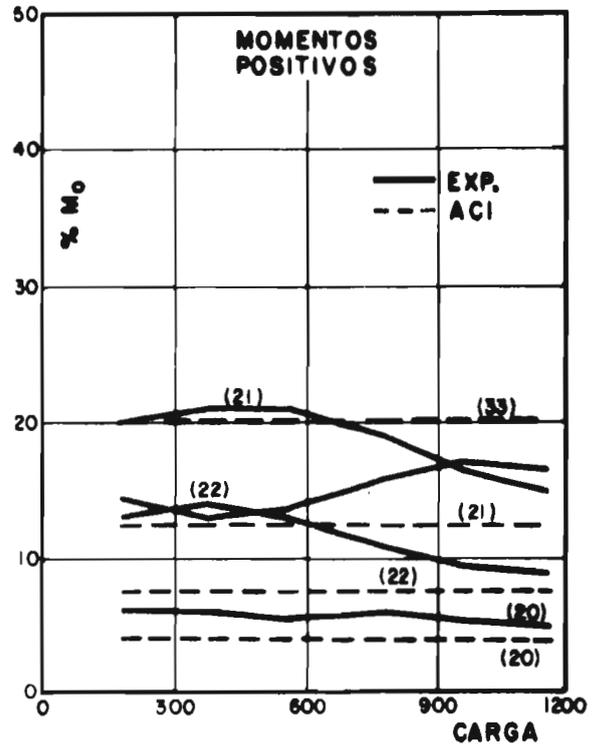
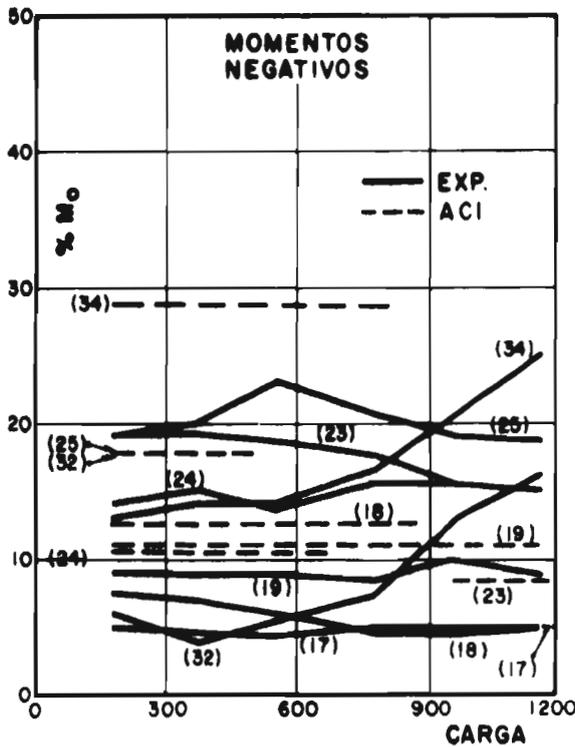
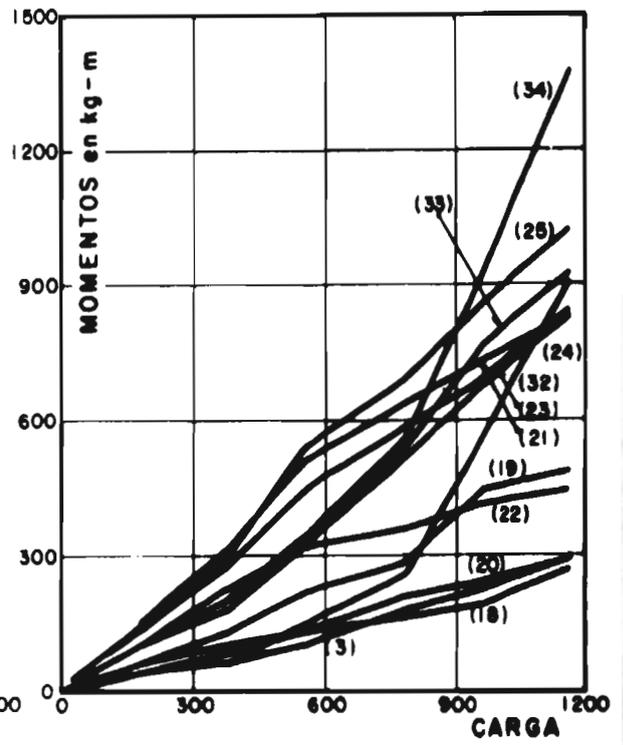
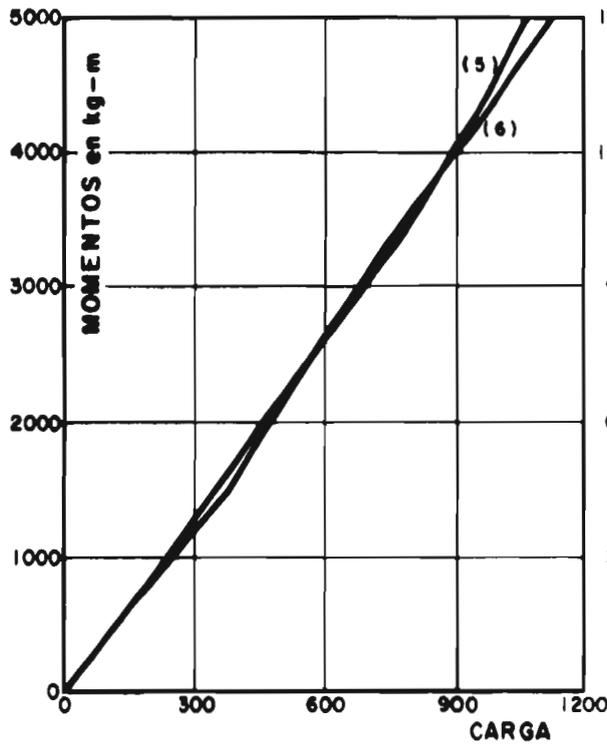
LOSA PLANA ENSAYADA EN LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS  
TABLERO PERPENDICULAR A LA VIGA RIGIDA

FIG.12-D



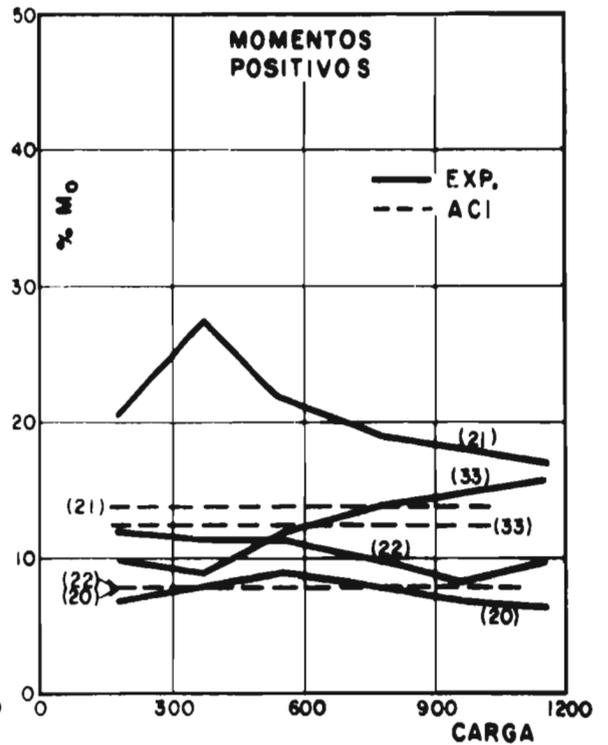
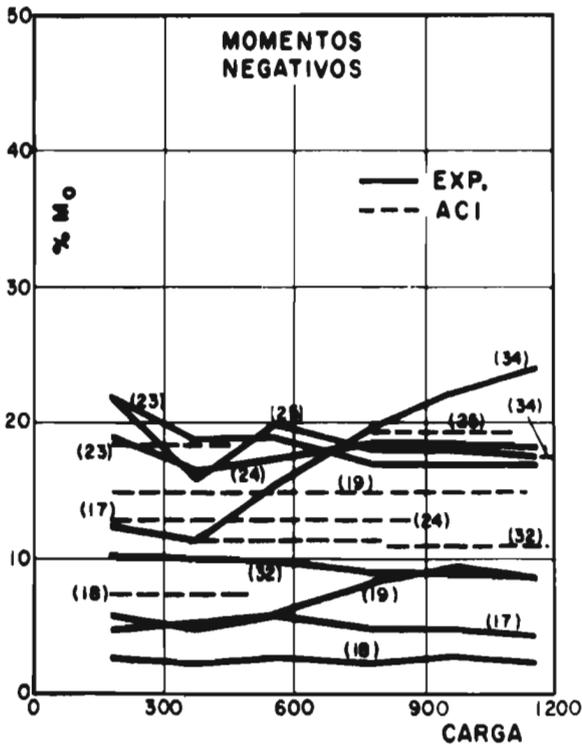
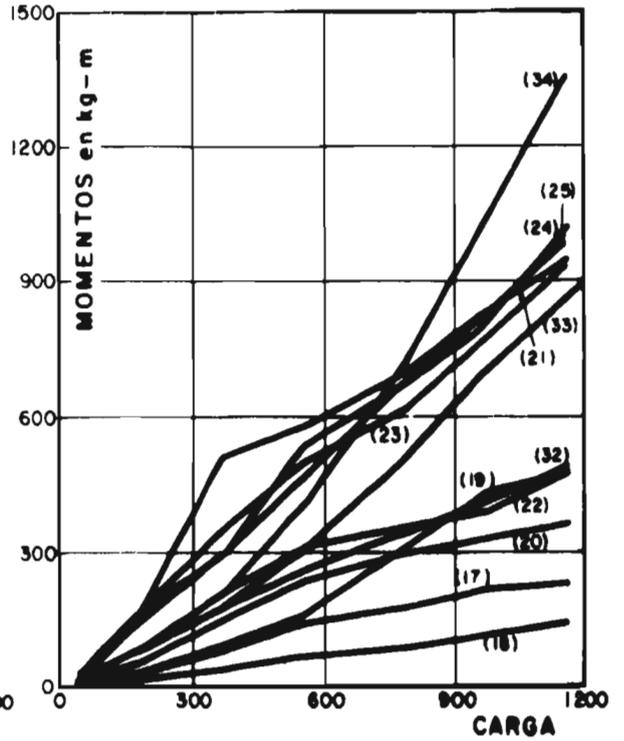
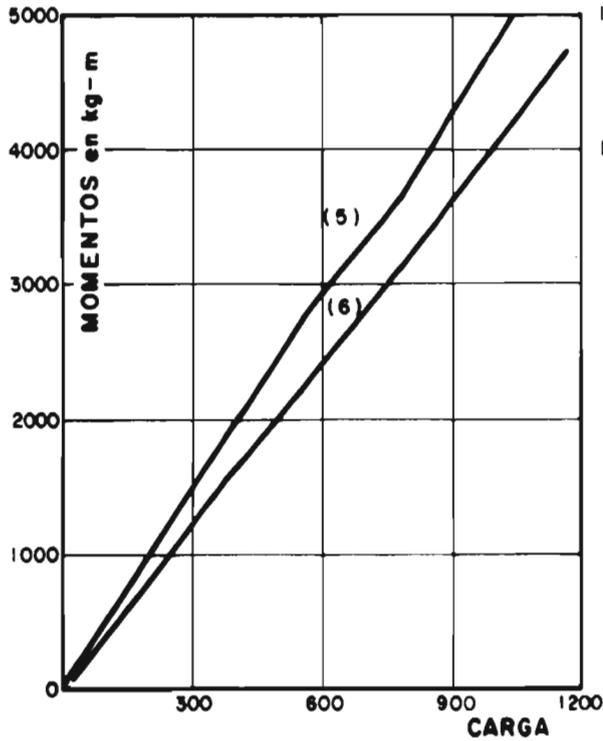
LOSA PLANA ENSAYADA EN LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS  
TABLERO PERPENDICULAR A LA VIGA FLEXIBLE

FIG.12-E



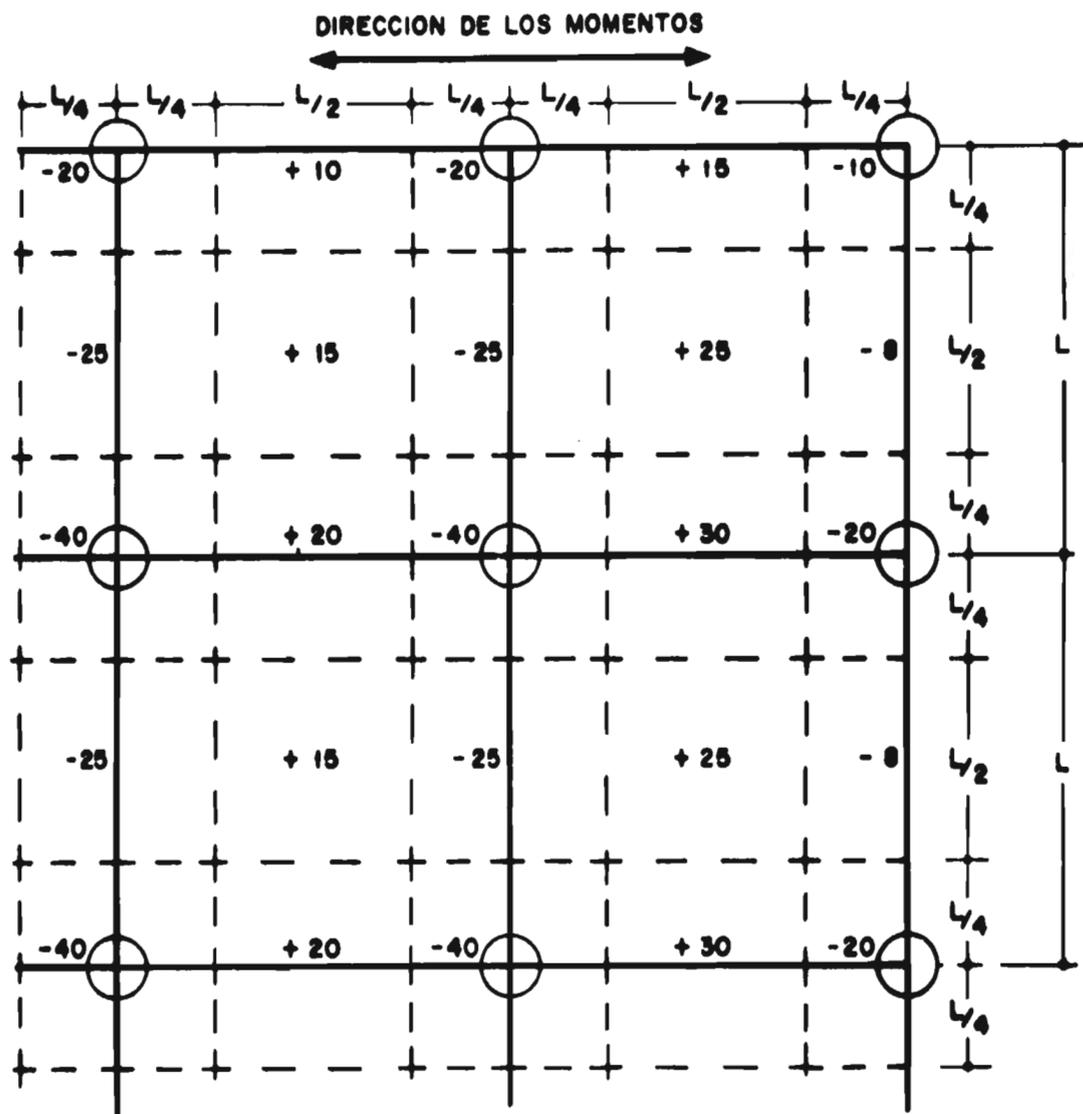
LOSA PLANA ENSAYADA EN LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS  
 TABLERO DE ESQUINA ADYACENTE A LAS VIGAS RIGIDAS

FIG. 12 - F



LOSA PLANA ENSAYADA EN LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS  
 TABLERO DE ESQUINA ADYACENTE A LAS VIGAS FLEXIBLES

FIG. 12 - G



COEFICIENTES DE DISTRIBUCION PROPUESTOS (%)

FIG. 13