

ESPESORES DE LOSAS

1- OBJETIVO, PLANTEO DEL PROBLEMA

El objetivo del presente trabajo es analizar los espesores de losas mínimos que podrían adoptarse a partir de cumplir con alguna de las condiciones límites de deformación que establece el nuevo proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón CIRSOC 201, basado en el ACI 318 -02.

La propuesta contempla a su vez el análisis comparativo de dichos valores con los que se obtienen siguiendo los procedimientos simplificados establecidos en el propio proyecto de reglamento.

Precisamente el CIRSOC 201-02 sigue el criterio común de especificar alturas mínimas de losas que no soportan cargas de mampostería, como el cociente entre la luz y un coeficiente que depende de las condiciones de apoyo. Con la salvedad de que este reglamento adopta como referencia la luz mayor en lugar de la luz menor, la mayoría de los otros reglamentos de reconocida difusión siguen el mismo criterio

La expresión de la altura mínima de la losa para el caso de entrepisos, que permite cumplir con la condición límite de deformación sin realizar cálculos más precisos y sin considerar daños en la mampostería u otros tipos de elementos no estructurales es:

$$h_{\min} = L_{\text{mayor}} / \gamma$$

Los valores del coeficiente g están tabulados en el reglamento, para los casos de entrepisos sin vigas con o sin capitel.

Por otra parte, quizás el mayor aporte de la propuesta del ACI 318 tiene que ver con el hecho de contemplar, con un mismo criterio, los entrepisos con o sin vigas, lo que permite tener en cuenta la flexibilidad de las vigas en la estimación de la altura mínima de la losa.

Es así que para las losas con vigas, la altura mínima surge de diferentes consideraciones, según sea la rigidez relativa entre la losa y el marco de vigas que le sirven de apoyo. El valor de referencia es α_m promedio ponderado para los cuatro lados de la relación de rigideces entre la viga y la losa.

Interesa particularmente la situación que se presenta cuando $\alpha_m > 2$ pues en este caso se considera que las vigas son mucho más rígidas que las losas, de manera tal que se puede suponer que la deformación final depende exclusivamente de la curvatura de la losa.

El interés de esta situación particular está asociado a la práctica constructiva habitual de nuestro medio, el uso de entrepisos con vigas, que en general responden a la condición $\alpha_m > 2$.

Para este caso el Proyecto de reglamento establece una altura total mínima de 9 cm y una expresión analítica función de la tensión de fluencia del acero y el valor de β , relación de lado mayor a lado menor. Esta expresión permite calcular un coeficiente que, multiplicado por la luz mayor, establece la segunda condición de altura mínima. En el caso de adoptar este valor, no es necesario realizar verificaciones que contemplen el cálculo de las deformaciones.

$$[1] \quad h \geq \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{(36 + 9\beta)}$$

La aplicación de este criterio conduce, en general, a alturas mínimas superiores a las resultantes de la aplicación del CIRSOC 201 actualmente vigente y, en general, a los de uso corriente. De allí, el interés en comparar este nuevo criterio con otros reglamentos de amplia difusión y con el resultante de cálculos analíticos recomendados para analizar las deformaciones en las placas.

Por otra parte, es conocida la complejidad que representa para el proyectista el cálculo de deformaciones en elementos flexionados de hormigón armado, sobre todo en la etapa de diseño, donde es importante contar con caminos expeditivos para estimar dimensiones previas a las verificaciones posteriores de los ELU y los ELS.

La gran cantidad de variables que intervienen en el problema y la incertidumbre para establecer algunos datos básicos dificultan aún más la solución de este problema. Algunas de las variables más significativas que deberían tenerse en cuenta son, el grado de fisuración, la tensión del acero, la calidad del hormigón, la continuidad, las condiciones de temperatura y humedad ambiente donde se construye la estructura, el curado, la historia y magnitud de las cargas, el momento de desencofrado, la relación entre carga permanente y variable y la relación de lados.

Considerando el problema planteado, se propone entonces:

1- Establecer comparaciones entre las alturas mínimas resultantes aplicando el nuevo Proyecto de Reglamento Argentino - 2002 basado en el ACI 318-02 con respecto a reglamentos de uso actual o pasado en nuestro medio, como el CIRSOC 201-82 (Cuaderno 240) y el PRAEH-64, y con otros reconocidos y actualizados como el Eurocódigo 2, el Reglamento Brasileño NBR 6118 y el Español EHE 1999.

2- Calcular las alturas de las losas de entrepisos con vigas rígidas, $\alpha_m > 2$, para distintas cargas, condiciones de apoyo y relación de luces, con y sin mampostería, que cumplan para este último caso, las condiciones límites establecidos por el ACI 318, método simplificado y adoptadas por el proyecto de Reglamento Argentino. Además se fijan otras variables de acuerdo a condiciones constructivas usuales.

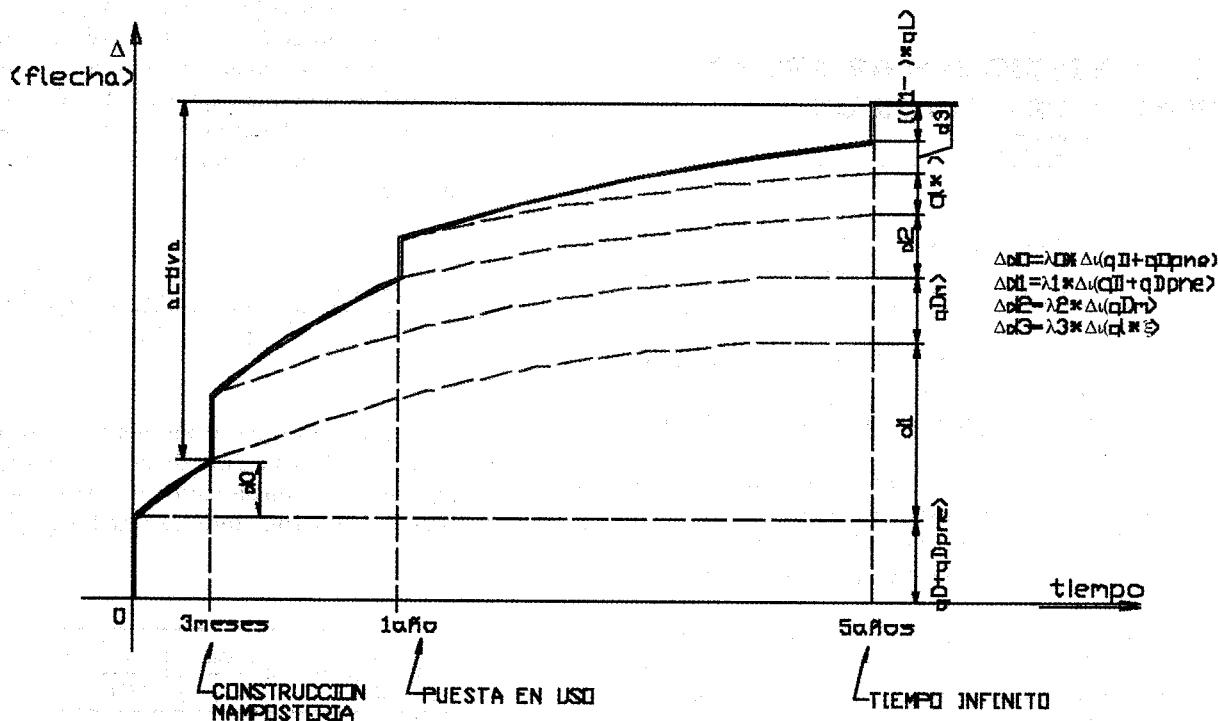
Esta propuesta, por un lado, facilita la tarea del proyectista y, por el otro, permite realizar un análisis comparativo entre las alturas mínimas calculadas analíticamente con las resultantes de aplicar el método simplificado del Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón CIRSOC 201-02 para los casos de losas que no soportan cargas de mampostería u otros tipos de elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños por grandes deformaciones.

2- CRITERIO PARA LOS ANALISIS E HIPOTESIS ADOPTADAS

El criterio constructivo establecido para el cálculo de flechas a seguir es el siguiente:

A partir de un curado mínimo de 3 días y plazos de remoción de puntales mínimos de dos semanas, se supone que la construcción del contrapiso y si existiera, también la mampostería, se realizan transcurridos 3 meses del colado del hormigón. La puesta en servicio, vale decir la fecha en que se presentarán las sobrecargas previstas se supuso que se realiza 1 año después.

Las etapas de carga suponen para la losa una relación flecha - tiempo como la representada en la Fig.1



2.1. ESTADOS DE CARGA Y MATERIALES CONSIDERADOS

Además del peso propio, se tuvo en cuenta una carga permanente compuesta por pisos, contrapisos, carpetas y cielorrasos, con un valor equivalente a 180 kg/m². Los casos resueltos con mampostería actuante sobre la losa, fueron analizados con una carga equivalente uniformemente distribuida de 100 kg/m².

Las cargas variables o sobrecargas de uso consideradas fueron de 100, 200, 300, 500, 750 y 1000 kg/m² para los casos sin mampostería y de 200, 300, y 500 kg/m², cuando se consideró mampostería sobre las losas.

A los efectos de contemplar la fracción de carga variable que incide en la deformación diferida, se supuso que un 30% de dicha carga actúa permanente a partir del año. Esta situación se identifica en la Fig. 1 como "puesta en uso".

La calidad de los materiales adoptados para los cálculos son: hormigón de densidad normal H20 y acero ADN 420. Para los mismos, siguiendo los lineamientos establecidos en el CIRSOC 201-02, se determinaron los módulos de elasticidad de acero y hormigón y de rotura del hormigón, resultando,

Módulo de elasticidad del acero: 200.000 MPa.

Módulo de elasticidad del hormigón: 21.019 MPa.

Módulo de rotura del hormigón: 3,13 MPa.

2.2. CONDICIONES DE APOYO, LUCES Y CRITERIOS DE VERIFICACION

Las luces consideradas para los paños de las losas fueron de 3, 4, 5, 6 y 7m, combinadas con relaciones de lados β, de 1 - 1,25 - 1,5 - 1,75 y 2.

Las condiciones de apoyo de las losas analizadas fueron 3: totalmente articulada, totalmente empotrada y articulados dos lados contiguos con los otros articulados.

Las situaciones de apoyos empotrados se analizaron como empotramientos elásticos con estados envolventes de cargas, dado que se plantearon situaciones con sobrecargas muy superiores a las cargas permanentes totales.

Los cálculos de verificación de secciones y el dimensionamiento de las armaduras se realizaron siguiendo íntegramente los lineamientos del Proyecto de Reglamento CIRSOC 201-02, considerando un recubrimiento mecánico para las armaduras de 2 cm.

3- CALCULOS Y MODELOS ANALIZADOS

El procedimiento de cálculo seguido para las verificaciones es el sugerido por Nilson (5) y adoptado por el Comité 435 del ACI "Control of Deflection in Concrete Structures" (4) para el caso de las losas apoyadas en las dos direcciones.

La deformación total surge de superponer a la deformación elástica instantánea, la deformación diferida, producto de las características propias del material, la fluencia y la contracción por secado.

De acuerdo a dichos criterios, la deformación elástica instantánea, se calcula promediando el valor obtenido para dos fajas centrales, expresión [2].

Dichos valores fueron calculados considerando los estados envolventes de las cargas, y evaluados para cada estado y escalón de carga.

$$[2] \quad \Delta i q T O T = \frac{\Delta i q T O T a + \Delta i q T O T b}{2}$$

Para tener en cuenta la pérdida de rigidez que se genera en las fajas, producto de la fisuración, se siguieron los lineamientos del método de Branson (4) indicado en el ACI 318-02, que permite calcular un momento de inercia efectivo de aplicación en la expresión de cálculo de la flecha máxima, a partir del momento que produce la fisuración de la sección de hormigón, M_{cr} , y del Momento máximo M_{aa} . [3]

$$I_e = \min \left[I_g, \left[\left(\frac{M_{cr}}{M_{aa}} \right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{aa}} \right)^3 \right] \cdot I_{cr} \right] \right]$$

El cálculo del momento crítico o momento de fisuración requiere conocer la armadura de la losa, la que se determinó siguiendo los lineamientos del ACI. La expresión de cálculo de las armaduras resulta: [4]

$$A_s = \frac{-f_y \cdot d + \sqrt{(f_y \cdot d)^2 - 4 \cdot \left(\frac{M_{ua}}{\phi} \right) \cdot \left(\frac{f_y^2}{1.7 \cdot f_c \cdot l} \right)}}{-2 \cdot \left(\frac{f_y^2}{1.7 \cdot f_c \cdot l} \right)}$$

Valor al que se le adicionó un 5% como estimación entre la armadura necesaria y la realmente colocada.

Para los casos de fajas continuas en uno o dos lados, se utilizó un promedio ponderado entre el momento de inercia de tramo y de apoyo, tal como lo proponen distintos autores (2),(3) y (5).

3.1. DEFORMACIONES A LARGO PLAZO

El aumento de deformación bajo carga constante se estima en el Código ACI 318 multiplicando las deformaciones instantáneas por un factor λ , función de la cuantía de armadura comprimida, que tiene un efecto benéfico ya que disminuye la deformación, y de un coeficiente ξ . El valor de ξ refleja las características del comportamiento del hormigón en el tiempo, que depende básicamente de la contracción por secado y de la fluencia. Su valor máximo alcanzado para el lapso de 60 meses es igual a 2. Vale decir que, para cada estado de carga considerado, permanentes o sobrecargas sostenidas, habrá una deformación elástica instantánea y otra diferida, que se incrementa con el paso del tiempo, y que duplica su valor inicial Fig1.

$$[5] \quad \Delta t_i = \Delta i + \lambda \Delta i$$

Algunos autores consideran que para el caso de las losas cruzadas, este valor 2 es insuficiente ya que la deformación final puede superar al que se obtiene con este multiplicador. Es así que Branson (4) considera un valor de 3 para la deformación a 5 años y Graham y Scanlon (3) un valor comprendido entre 2,5 y 4.

Esta situación sólo debería considerarse para el caso de existencia de mampostería porque, tal como se verá más adelante, en ese caso la condición límite se verifica en el largo plazo. En el trabajo no se presentan estos resultados porque, luego de evaluadas, las variaciones obtenidas son poco significativas en relación a las conclusiones generales

perseguidas.

3.2. DEFORMACIONES LIMITES ADMISIBLES

Para garantizar un comportamiento satisfactorio para la deformación (ELS), el ACI 318-02 establece límites a las deformaciones que se obtienen con los procedimientos descritos, distinguiendo claramente dos situaciones posibles: que la losa soporte o no, elementos no estructurales que puedan sufrir daños como consecuencia de grandes deformaciones.

Para el caso de la losa que no soporta dichos elementos, básicamente paredes de mampostería, el límite establecido es $L / 360$, como valor de la deformación máxima instantánea debida a la sobrecarga.

Para la losa que sí soporta paredes, la limitación es $L / 480$ aplicable a la parte de la deformación total que se manifiesta después de la construcción de los elementos no estructurales; es decir, la suma de las deformaciones a largo plazo, generada por todas las cargas permanentes, más la instantánea que genere cualquier sobrecarga adicional.

Tal como se comentó anteriormente, para los cálculos desarrollados se consideró, como es habitual estimar para las construcciones destinadas a vivienda, que solamente el 30% de la sobrecarga actúa en forma permanente. Con estas limitaciones se trazaron las curvas correspondientes a los casos con y sin mampostería, que para las distintas condiciones de apoyo permite, en función de β , obtener la relación l_{menor}/h_{min} para distintos valores de las sobrecargas.

3.3. COMPARACION CON OTROS REGLAMENTOS

Para evaluar comparativamente el criterio seguido por el ACI 318, se graficaron los valores de las alturas útiles mínimas que se obtienen en cada uno de los reglamentos mencionados, siguiendo los criterios simplificados de cada uno para los casos en que no existe mampostería sobre la losa.

Los reglamentos analizados, (Brasileño NBR 6118, PRAEH 64, Española EHE 99, Eurocódigo 2 y CIRSOC 201-82) establecen coeficientes que relacionan la luz

menor con respecto a la altura útil, en cambio el ACI 318 lo hace con respecto a la luz mayor y la altura total. Por esa razón se supuso una distancia de fondo de losa a eje de barra de 2 cm y se trazaron distintos gráficos para distintas condiciones de apoyo y de relación de lado, lo que permitió graficar las alturas útiles resultantes en función de la luz menor.

Las relaciones de lados analizadas son 1 y 2, para los casos de losas totalmente articuladas, totalmente empotrada y una combinación de articulación y empotramiento.

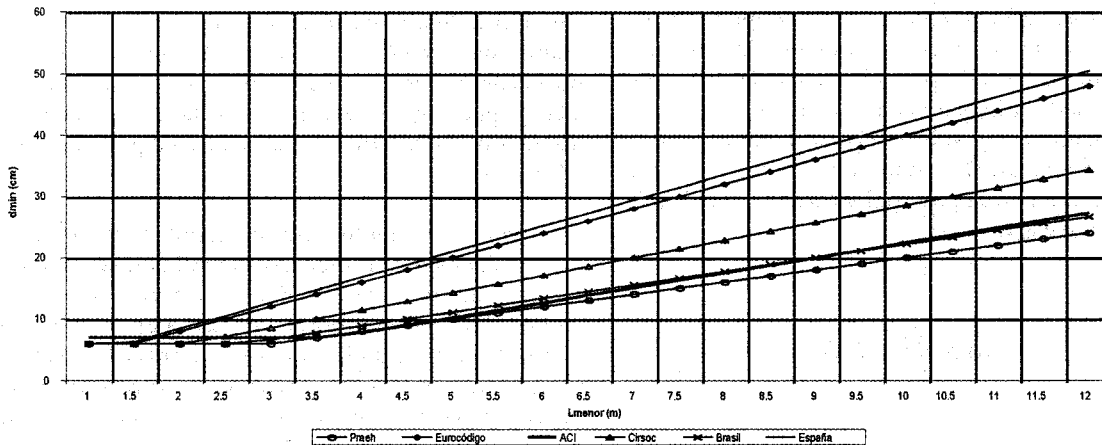


Figura 2.- Losa con 4 bordes articulados. $\beta=1$

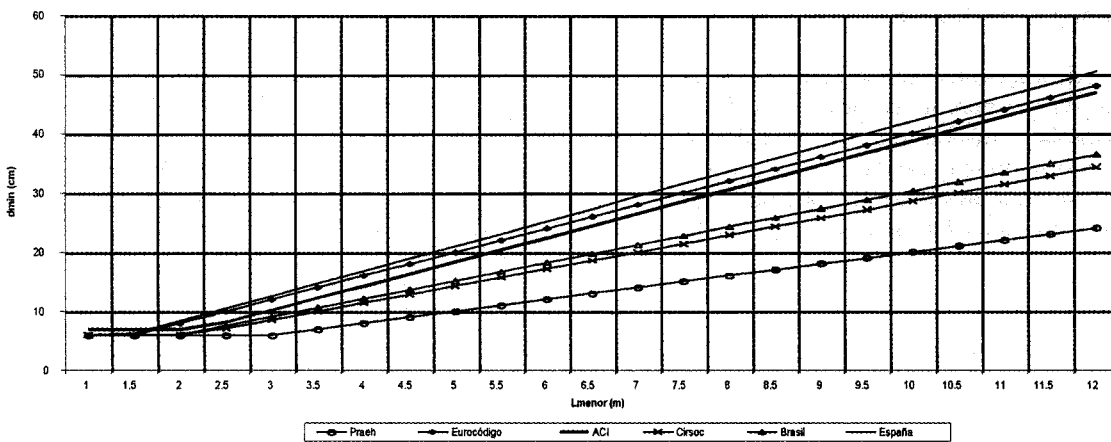


Figura 3.- Losa con 4 bordes articulados. $\beta=2$

4-EVALUACION DE RESULTADOS

4.1 ANALISIS COMPARATIVO CON OTROS REGLAMENTOS

En todos los casos analizados los menores valores de altura útil se obtienen con la aplicación del PRAEH 64 (PRAEH) y la Norma Brasileira NBR 6118 (NBR); los más altos con la Norma EHE 99 (EHE) y el Eurocódigo (EC), y valores intermedios con el CIRSOC 201-82. La aplicación del criterio simplificado del ACI 318-02, comparándolo con los otros reglamentos analizados, conduce a situaciones diferentes según la relación de lados y condiciones de sustentación, como se detalla a continuación.

Para el caso de los cuatro bordes articulados:

- Para relación de lados igual a 1, valores equivalentes a los menores (PRAEH y NBR). Fig. 2
 - Para relación de lados igual a 2, valores equivalentes a los mayores (EC y EHE) Fig.3
- Para el caso de los cuatro bordes empotrados:
- Para relación de lados igual a 1 valores intermedios entre CIRSOC 201-82, NBR y PRAEH con los correspondientes a la norma EHE y EC. Fig 4.
 - Estos valores se ven todos ampliamente superados para la relación de lados 2. Fig. 5.

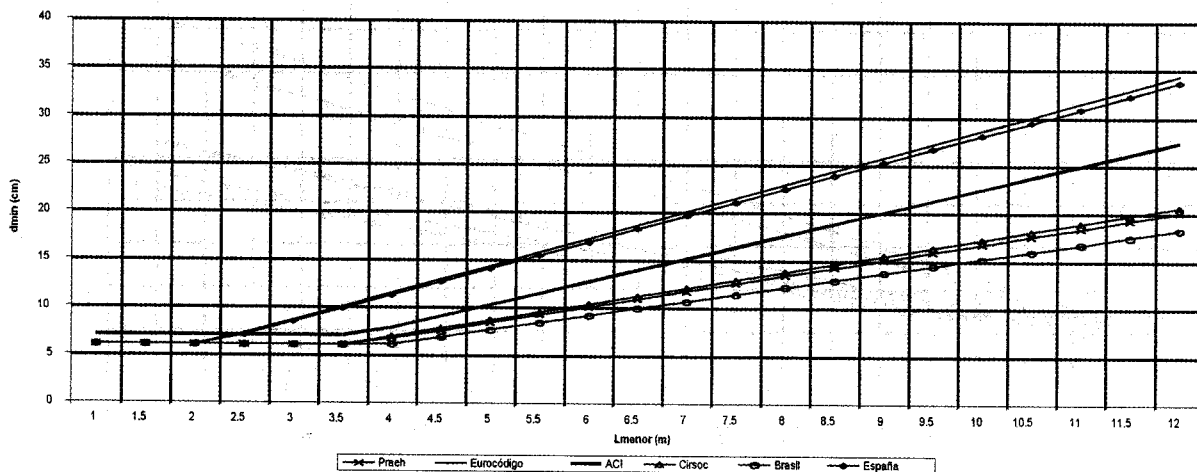


Figura 4.- Losa con 4 bordes empotrados. $\beta=1$

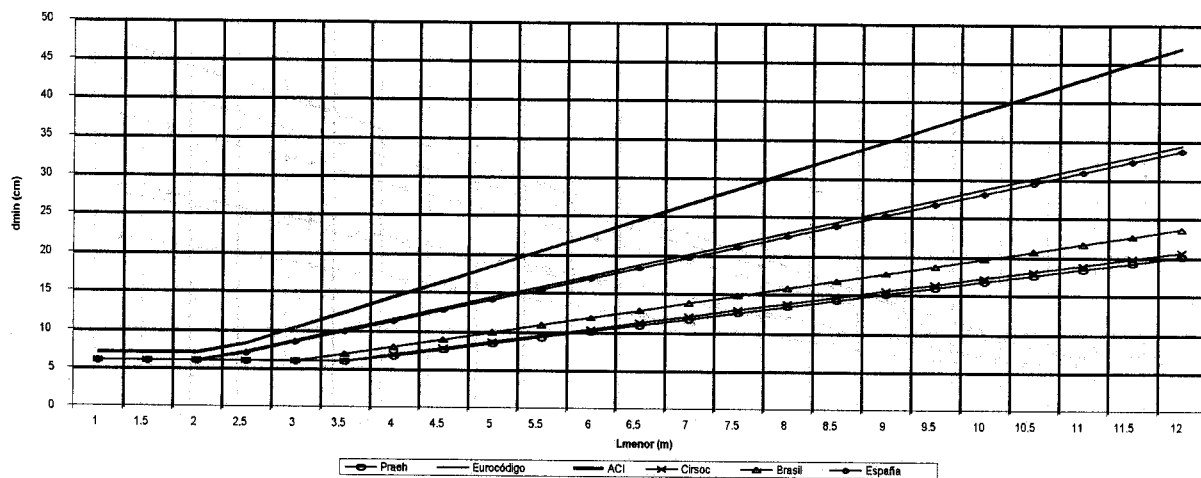


Figura 5.- Losa con 4 bordes empotrados. $\beta=2$

El caso estudiado con bordes articulados y empotrado conduce a situaciones intermedias a los analizados anteriormente. Fig. 6 relación de lados igual a 1 y Fig. 7 con relación 2.

4.2. ANALISIS COMPARATIVO CON LOS RESULTADOS DE LAS ALTURAS RESULTANTES SEGUN LOS MODELOS MATEMATICOS ADOPTADOS

El análisis de los resultados de los cálculos de las alturas mínimas con los modelos adoptados, con respecto a las obtenidas con el método simplificado del ACI 318 -02, conduce a lo siguiente:

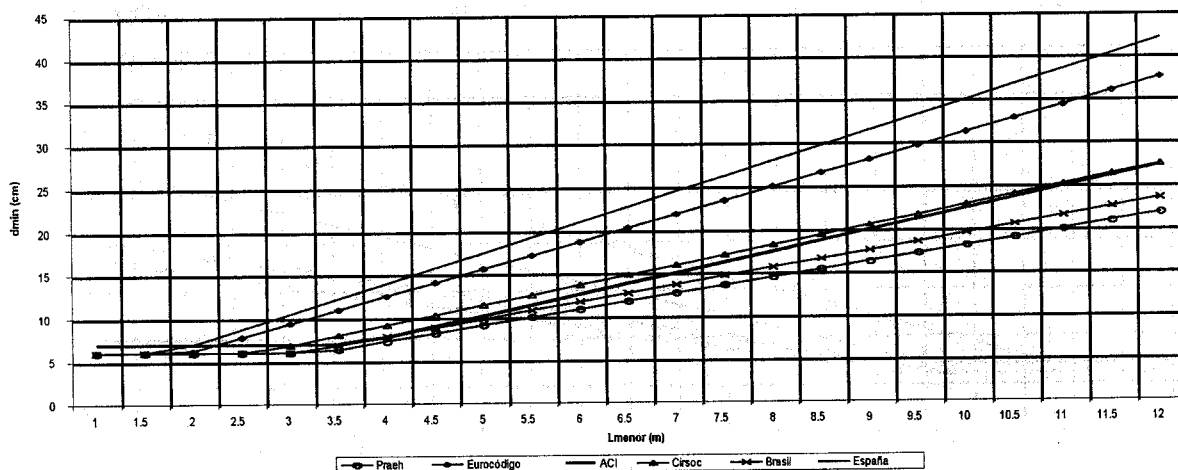


Figura 6.- Losa con 2 bordes articulados y 2 bordes empotrados. $\beta=1$

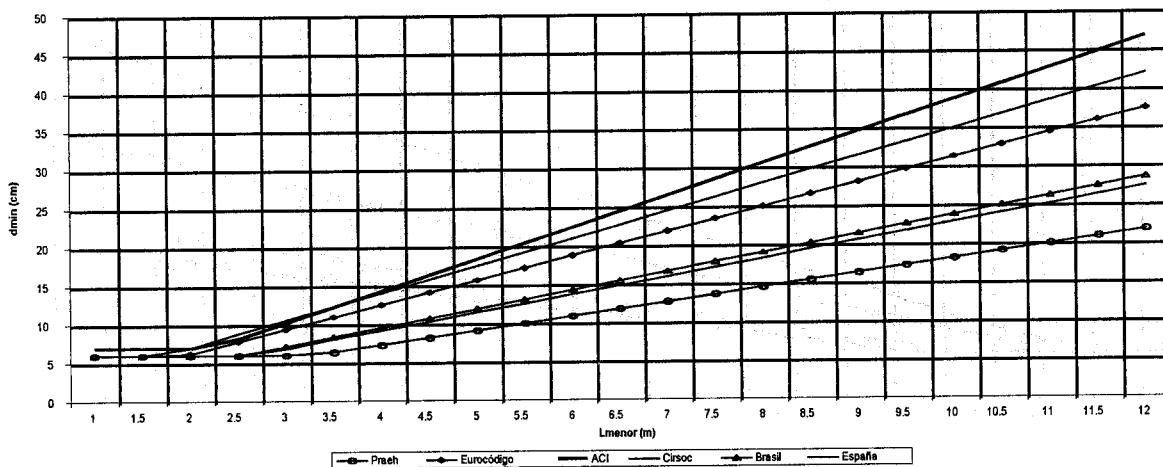


Figura 7.- Losa con 2 bordes articulados y 2 bordes empotrados. $\beta=2$

LOSA SIN MAMPOSTERIA

Para el caso de cuatro bordes articulados, se obtienen valores de altura de losa interiores para todas las sobrecargas analizadas, con resultados equivalentes solo para cargas bajas entre 750 y 1000 Kg/m², cuando la relación de lados es menor a 1.5 (Fig. 8).

Para el caso de cuatro bordes empotrados, se obtienen valores de altura de losas interiores para todo el rango de cargas analizado (Fig. 9). Esto se repite para la condición de borde articulado y empotrado (Fig. 10).

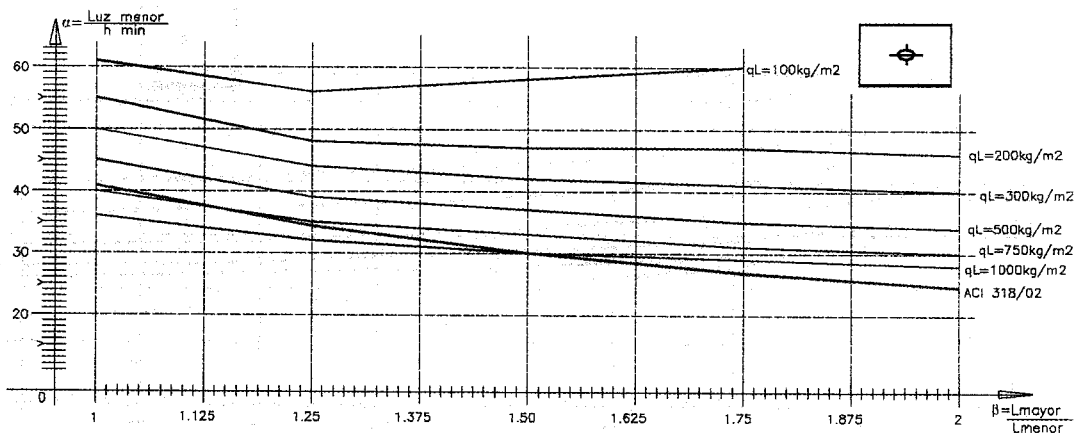


Figura 8.

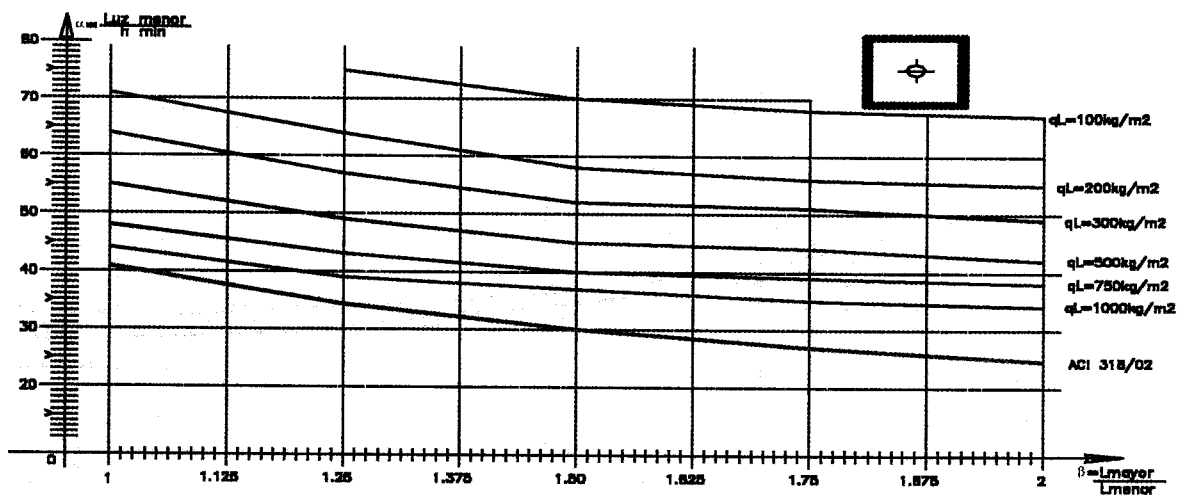


Figura 9.

LOSA CON MAESTRERIA

Aunque los criterios simplificados del ACI 318-02 para evaluar la altura mínima de losas no contemplan la posibilidad de adicionarle paredes, se trazaron a modo de referencias las curvas correspondientes que se obtienen de la expresión 1, con los siguientes resultados comparativos:

- Para la losa con sus cuatro bordes articulados y coeficiente de fluencia ξ máximo=2, los valores de las alturas de losas obtenidos coinciden con los obtenidos por el

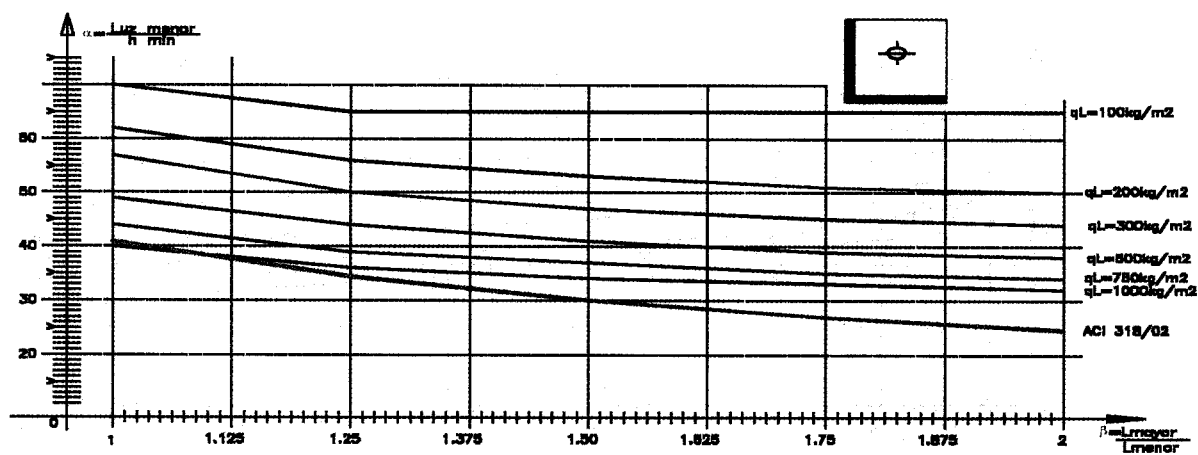


Figura 10.

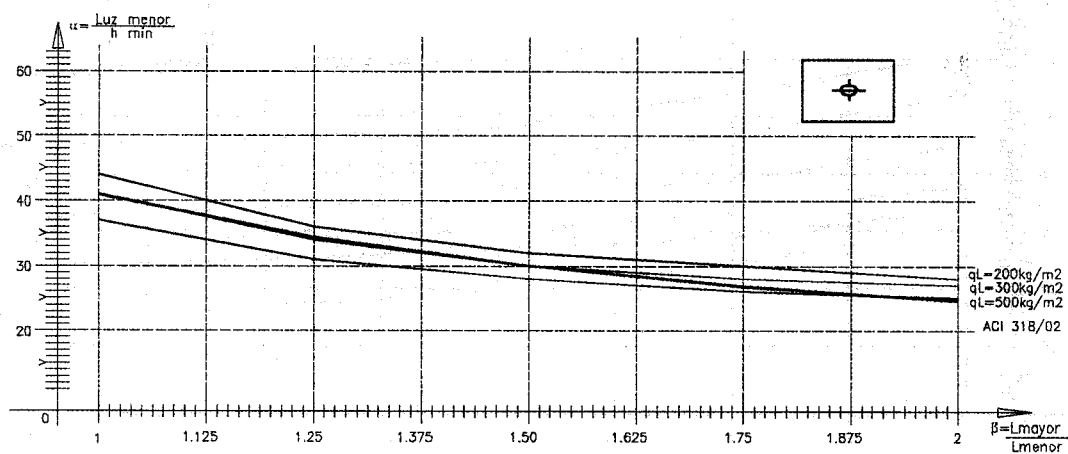


Figura 11.

método aproximado del ACI 318-02 cuando la relación de lados es menor a 1.5 para sobrecargas de 300 Kg/m². Cuando la relación de lados es 2, la coincidencia se presenta para sobrecargas de 500 Kg/m². Fig. 11.

• Cuando la losa tiene sus cuatro lados empotrados, para todas las relaciones de lados y los 2 valores de ζ analizados, los resultados de las alturas de losas obtenidos son inferiores a los correspondientes al método simplificado del ACI 318-02. Fig. 12 (para $\zeta=2$).

• En las condiciones de apoyos mixtos, se mantiene dicha tendencia. Fig. 13.

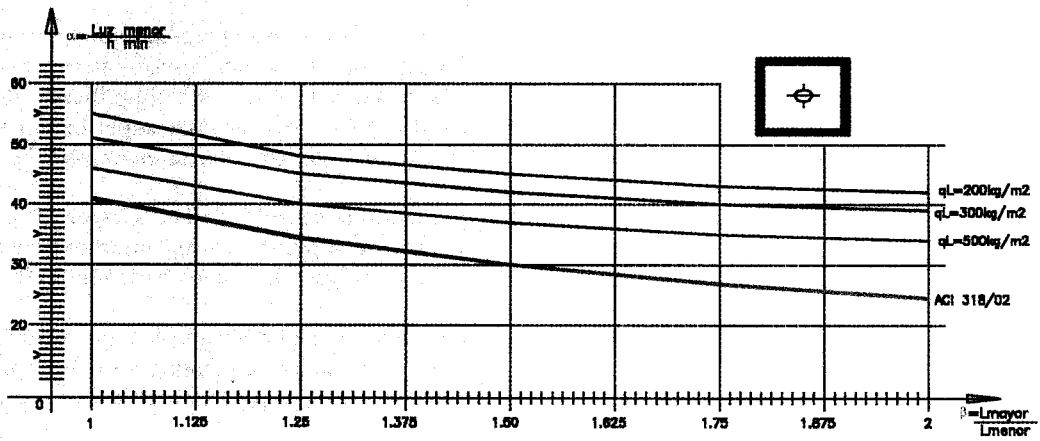


Figura 12.

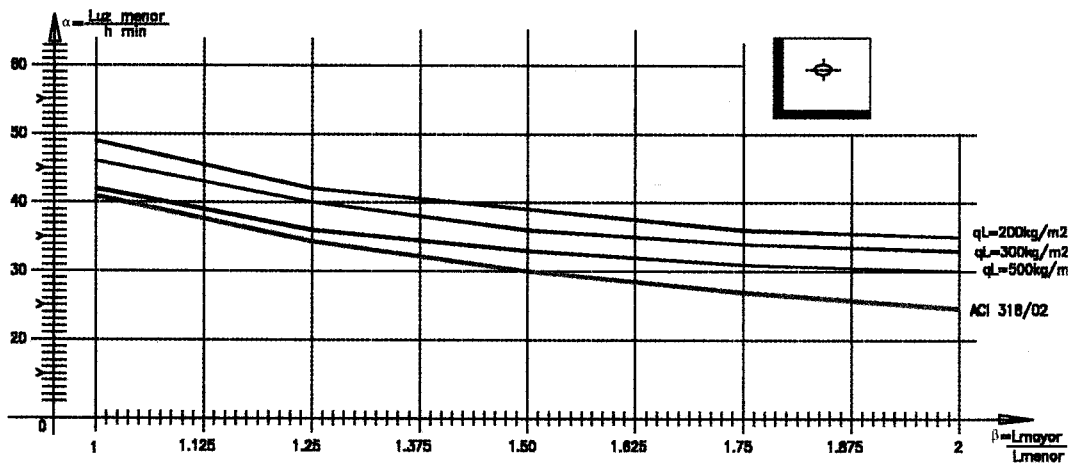


Figura 13.

5. CONCLUSIONES

- Bajo las hipótesis adoptadas, los criterios simplificados para estimar las alturas de las losas establecidos en el ACI 318-02, art. 9.5.3.3, expresión (1), solo conducen a valores cercanos a los obtenidos por métodos de cálculo más exactos, cuando la losa tiene sus bordes empotrados, la relación de lados es cercana a 1 y las sobrecargas son elevadas, superiores a los 500 kg/m².
- En la medida que aumenta la cantidad de bordes empotrados y la relación de lados, los valores se alejan sensiblemente de los obtenidos por métodos analíticos. La razón de esta situación podría ser la falta de consideración de la condición de borde de la placa y la generalización de un método igual para todos los entrepisos de hormigón con o sin vigas.
- Esta situación de alejamiento con los valores obtenidos analíticamente, cuando las losas tienen bordes empotrados, es tal que el método simplificado del ACI 318-02 conduce a alturas de losas superiores a las necesarias, aun cuando la losa soporta mampostería.
- Cuando la relación de lados supera 1.5, la altura que se obtiene supera a los reglamentos actualizados como el Eurocódigo o la Norma Española EHE.
- En la medida que se cumplan aproximadamente las hipótesis de trabajo adoptadas, las curvas propuestas pueden ser utilizadas para estimar las alturas útiles.
- La generalización de su uso requerirá considerar condiciones más desfavorables que conducirán a alturas algo mayores a las obtenidas en este análisis.

En base a los resultados obtenidos, se detalla a continuación una tabla con valores recomendados de la relación γ ($Luz_{menor} / h_{mín}$).

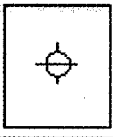


| Bordes y relación de lados | | Sobrecarga de cálculo según uso | | | |
|--|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Condiciones de borde | $\beta = \frac{Luz_{mayor}}{Luz_{menor}}$ | Sin mampostería | | Con mampostería | |
| | | $q_L = 300$ kg/m ² | $q_L = 500$ kg/m ² | $q_L = 300$ kg/m ² | $q_L = 500$ kg/m ² |
|  | $\beta = 2$ | 40 | 35 | 25 | 23 |
| | $\beta = 1$ | 45 | 40 | 35 | 33 |
|  | $\beta = 2$ | 45 | 38 | 30 | 28 |
| | $\beta = 1$ | 50 | 45 | 38 | 36 |
|  | $\beta = 2$ | 48 | 42 | 35 | 33 |
| | $\beta = 1$ | 55 | 50 | 42 | 40 |

Tabla 1.

$$h_{mín} = \frac{Luz_{menor}}{\gamma}$$

h : Altura total de la losa

γ : Coeficientes indicados en la Tabla 1

• Para los casos intermedios de luces, se podrá interpolar linealmente.



BIBLIOGRAFIA

1. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318 - 02) and Commentary*. American Concrete Institute.
2. *Cálculo de Flechas en Estructuras de Hormigón Armado*. J. Calavera Ruiz - L. García Dutari. INTEMAC. 1992.
3. *Control of Deflection in Concrete Structures*. ACI Manual of Concrete Practice 2003 Part.5 - Committee 435. ACI 435R-95
4. *Deflection of two-way Reinforced Concrete Floor Systems*. ACI 435.6R-1984 Manual of Concrete Practice.
5. *Diseño de Estructuras de Concreto*. Arthur H. Nilson. McGraw Hill 1999.
6. *Eurocode 2: Design of Concrete Structures - ENV 1992*
7. *Instrucción de Hormigón Estructural EHE*, Ministerio de Fomento de España, 1999.
8. *Norma Brasileira NBR 6118 - 1980*, ABNT Asociación Brasileira de Normas Técnicas.
9. *Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón*, CIRSOC 201 - 2002, CIRSOC - INTI.
10. *Proyecto de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (PRAEH)*, 1964.
11. *Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón CIRSOC 201-82*. CIRSOC - INTI.