



# COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE CÁLCULO DE CARGA MÁXIMA APLICADA A LAS LOSAS MACIZAS CON VALORES OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE SOBRE LOSAS DE IGUAL DISEÑO

■ Mario Paparoni

Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil.  
Universidad Católica "Andrés Bello". Caracas,  
DC. Venezuela. [mpapar@ucab.edu.ve](mailto:mpapar@ucab.edu.ve)

■ Karlys C. Guzmán Peña.

Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil.  
Universidad Católica "Andrés Bello". Caracas, DC.  
Venezuela. [karlyscgp@gmail.com](mailto:karlyscgp@gmail.com)

■ Neiris Gabriela Rodríguez Ruz.

Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil.  
Universidad Católica "Andrés Bello". Caracas, DC.  
Venezuela. [gabrielaruz@hotmail.com](mailto:gabrielaruz@hotmail.com)

Fecha de Recepción: 25 de marzo de 2008

Fecha de Aceptación: 16 de mayo de 2008

---

## Resumen

El presente trabajo hace un estudio de los diferentes métodos de **diseño de losas**, de manera tal que sirva como una herramienta al lector, para formarse un criterio respecto a cual método escoger según sea la situación que se presente.

El estudio de los diferentes métodos para el cálculo de losas consiste en el análisis de sus antecedentes, usos, ventajas y desventajas aplicado en una losa rectangular simplemente apoyada; la cual es diseñada por los métodos de **Líneas de Rotura**, **Cargas Arbitrarias**, **Marcus** y **Timoshenko**, para luego ser comparados entre sí, sus resultados y valores de diseño.

Luego de toda esta recopilación de datos, y diseño de la losa por los cuatro métodos antes mencionados y el análisis exhaustivo de todo lo expuesto, se logra mostrar una serie de diagnósticos de utilidad.

Es nuestro deseo que este trabajo facilite la es-cogencia del método más adecuado, de acuerdo con las exigencias del caso en estudio. Ya que no es necesario emplear tratamientos tan rigurosos

y tan exactos, sino que a través de métodos más sencillos es posible obtener resultados igualmente satisfactorios, siempre y cuando la losa resista la carga de servicio y además cumpla con los límites aceptables de deflexión y agrietamiento.

## Summary

This work is a compilation of different **slab design** methods and it have the intention to bring to the readers a useful tool that could help them to choose the most appropriate design method. When a slab design take place, keeping in mind the particular conditions of every situation.

The study of this different slabs calculation methods consists of the analysis of its precedents, uses, advantages and disadvantages, applied to a rectangular simply supported slab calculation; who is designed by the methods of: **Break Lines, Arbitrary Loads, Marcus and Timoshenko**, and then compare the differences of values and results between them.

After the compilation of the input data and designs by the methods previously mentioned and making a exhaustive analysis, we show a series of useful diagnoses.

It is our desire that this work facilitates the choice of the most suitable slab design method, in agreement with the requirements of the study, because it is not necessary to use so rigorous and exact treatments, when with much simpler methods it is possible to obtain satisfactory results, Although so the slab resists the design solicitations.

## 1. Planteamiento del problema

Hay muchos métodos de Cálculo de Losas Macizas que se enseñan en clase, pero hay muy pocas referencias bibliográficas sobre su verificación experimental, por ello surgió la necesidad de hacer un estudio para analizar cuatro (4) Métodos que se usan para dicho cálculo y a su vez compararlos con resultados experimentales provenientes de otro Trabajo Especial de Grado.

Para este caso de estudio se analizarán los siguientes Métodos: Solución Clásica de St. Venant (Timoshenko), Método de Marcus, Método de las Líneas de Rotura y Método de las Cargas Arbitrarias.

La evaluación de los Métodos antes mencionados y la comparación de los mismos es de suma importancia, ya que se podrá recomendar el que resulte razonablemente más acorde con los resultados experimentales encontrados, a su vez se podrá observar cuál será en la realidad la resistencia de una losa simplemente armada; todo esto con la finalidad de dejar registros comparativos para facilitar posteriores estudios acerca de este tema.

Este trabajo pretende demostrar que en algunos casos, no es necesario emplear tratamientos tan rigurosos y tan exactos, sino que a través de métodos más sencillos es posible obtener resultados igualmente satisfactorios, siempre y cuando la losa resista la carga de servicio y además cumpla con los límites aceptables de deflexión y agrietamiento.

## 2. Objetivos del proyecto

Este estudio tiene por objetivo general “Comparar y analizar los resultados teóricos obtenidos a través de métodos de Cálculo de Losas Macizas que se suelen enseñar en las carreras de ingeniería entre si y al mismo tiempo compararlos con los resultados experimentales provenientes de otro Trabajo Especial de Grado”. Con el fin de saber cual es el factor de seguridad que cumple esta comparación, y cual sería el método escogido que resulte más confiable a la hora de diseño de losas macizas.

### Objetivos Específicos

- Evaluar teóricamente con el Método Solución Clásica de St. Venant (Timoshenko).
- Evaluar teóricamente con el Método de Marcus.
- Evaluar teóricamente con el Método de las Líneas de Rotura.
- Evaluar teóricamente con el Método de las Cargas Arbitrarias.
- Comparar los resultados de cada uno de los métodos antes mencionados para ver si se

asemejan los valores y observar cuales difieren más y por qué sucede esa diferencia.

- Establecer un reporte de las diferencias cuantitativas encontradas en la comparación antes expuesta.
- Comparar cual de los valores obtenidos se asemeja más a los valores obtenidos experimentalmente y analizar su diferencia.

ensayo de una losa maciza de iguales dimensiones y características; a su vez se quiere observar mediante una comparación entre cada método, cual de ellos es más confiable o más sencillo de aplicar.

Todo esto se hace con la finalidad de simplificar el estudio de losas macizas para hacer el trabajo rápido y efectivo a la hora de la construcción, pues los procedimientos de cálculo complejo suelen ser frente de errores, al perderse en el camino los sentidos físicos de las variables que manejamos.

### 3. Metodología

Este trabajo es teórico comparativo. Debido a la necesidad de comprobar la efectividad de alguno de los métodos existentes para el cálculo y diseño de losas macizas con los resultados encontrados en el

La metodología utilizada en el desarrollo del presente trabajo a fin de cumplir con los objetivos planteados fue la siguiente:

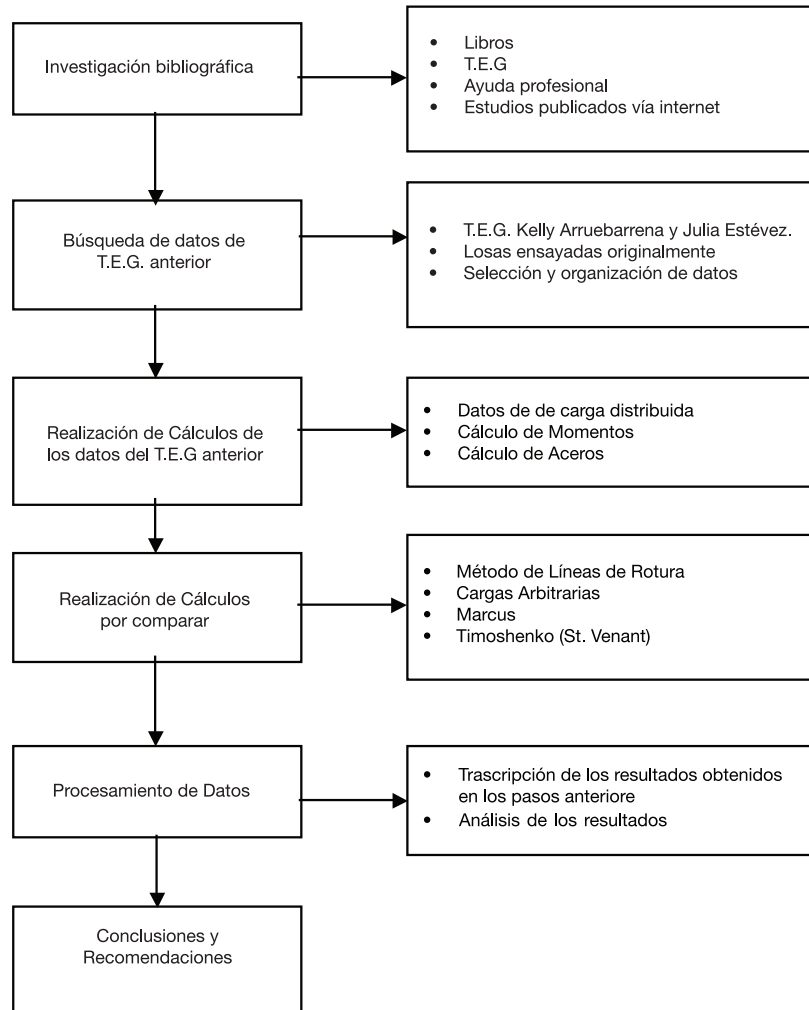


Figura 1. "Metodología empleada para el desarrollo del trabajo". Fuente: Elaboración propia

## 4. Resultados

En esta sección se presentarán los procedimientos con sus respectivos cálculos de cada uno de los métodos estudiados, así como también los resultados experimentales del trabajo en el cual nos basamos.

### 4.1. Resultados experimentales (basados en el trabajo anterior)

En el estudio anterior se construyeron losas macizas de 60 cm de largo por 40 cm de anchura y 2,5 cm de espesor, con un acero colocado uniformemente cada 2.5 cm de  $A_s = 3.8\text{mm}^2$ .

LOSA	PRESIÓN (atm)	PRESIÓN (kgf/m <sup>2</sup> )	DEFORM. (pulg)	DEFORM. (mm)
1	0,609	6289,68	636	16,15
2	0,615	6349,21	734	18,64

Tabla 1. "Resultados experimentales"

Carga distribuida promedio:

- $$W_{prom} = \frac{6289,68 + 6349,21}{2} = 6319,45 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$
- $$W_{exp} = 0.63 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

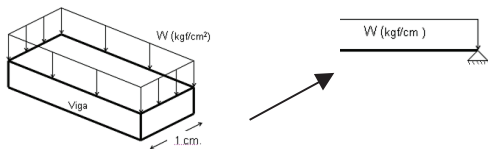


Figura N° 2. "Carga distribuida sobre una tira de la losa". Fuente: Elaboración propia.

Configuración de la losa:

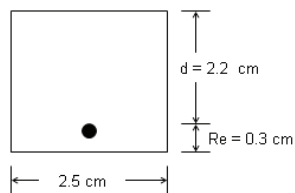


Figura N° 3. "Dimensiones de sección transversal de la losa". Fuente: Elaboración propia.

- $$\phi_{cabilla} = 2.20\text{mm}$$
- $$A_s = \pi \cdot r^2$$

$$A_s = \pi \cdot (1.10\text{mm})^2$$

$$A_s = 3.8\text{mm}^2 = 0.038\text{cm}^2$$
- $$f'_c = 212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

- $$F_y = 3637 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

- $$Re_{cubrimiento} = 0.3\text{mm}$$

- $$\rho = \frac{A_s}{a \cdot b} = \frac{\left(\frac{\pi}{4}\right)(0.22\text{cm})^2}{(2.5\text{cm})(2.5\text{cm})} = \frac{0.03813}{7.5}$$

$$\rho = 6.08\% \approx 0.61\% > 0.25\%$$

### 4.1.1. Cálculo del momento proveniente de los resultados experimentales

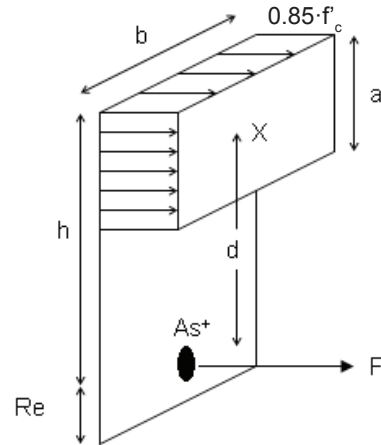


Figura N° 4. "Esfuerzos aplicados sobre la sección de losa". Fuente: Elaboración propia.

- $$F = F_y \cdot A_s$$

$$F = \left(3637 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right) \cdot (0.038\text{cm}^2)$$

$$F = 138.206\text{kgf}$$

- $$F = f'_c \cdot a \cdot b$$

$$138.206 \text{kgf} = \left( 212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) \cdot (1 \text{cm}) \cdot a$$

$$a = 0.65 \text{cm}$$
- $$d = h - \frac{a}{2} - R_e$$

$$d = 2.5 - \frac{0.65}{2} - 0.3$$

$$d = 1.875 \text{cm}$$
- $$m = F \cdot d$$

$$m = (138.206 \text{kgf}) (1.875 \text{cm})$$

$$m = 259.14 \frac{1}{2.5 \text{cm}} \text{kgf} \cdot \text{cm} = 103.66 \text{kgf}$$

#### 4.2. Cálculo de la carga distribuida por el método de líneas de rotura

4.2.1. Cálculo del momento de una losa rectangular reforzada ortotrópicamente, simplemente apoyada, y carga uniformemente repartida

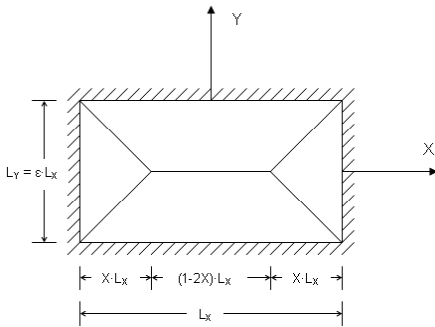


Figura Nº 5. "Distribución de las líneas de rotura". Fuente: Elaboración propia.

Por trabajo virtual, se supone un desplazamiento virtual unitario ( $\delta_o = 1$ ) y un coeficiente de ortotropía  $K=1$  en las líneas de rotura, y se obtienen las siguientes ecuaciones de momento:

Para cualquier punto el momento es:

$$M_p = \frac{P \cdot Lx^2}{12} \cdot \epsilon^2 \cdot \left( \frac{3x - 2x^2}{2x + K \cdot \epsilon^2} \right)$$

El momento máximo será:

$$M_p = \frac{w \cdot Lx^2}{24} \cdot \epsilon^2 \cdot \left( \sqrt{3 + K \cdot \epsilon^2} - \epsilon \sqrt{K} \right)^2$$

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores el momento "m" (calculado en el punto anterior), se obtiene la carga distribuida teórica.

Para cualquier punto la carga aplicada es:

$$104 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}} = \frac{P \cdot 60^2 \text{cm}^2}{12} \cdot \left( \frac{40 \text{cm}}{60 \text{cm}} \right)^2 \cdot \left( \frac{3 \left( \frac{20 \text{cm}}{60 \text{cm}} \right) - 2 \left( \frac{20 \text{cm}}{60 \text{cm}} \right)^2}{2 \left( \frac{20 \text{cm}}{60 \text{cm}} \right) + 1 \cdot \left( \frac{40 \text{cm}}{60 \text{cm}} \right)^2} \right)$$

Luego la carga por Líneas de Rotura a comparar será igual a:

$$w = 1.11 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Para Momento máximo la carga aplicada es:

$$104 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}} = \frac{P \cdot 60^2 \text{cm}^2}{24} \cdot \left( \frac{40 \text{cm}}{60 \text{cm}} \right)^2 \cdot \left( \sqrt{3 + 1 \cdot \left( \frac{40 \text{cm}}{60 \text{cm}} \right)^2} - \left( \frac{40 \text{cm}}{60 \text{cm}} \right) \sqrt{1} \right)^2$$

Luego la carga por Líneas de rotura a comparar será:

$$w = 1.103 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

#### 4.3. Cálculos por el método de cargas arbitrarias

Para simplificar este método, se trabaja con la franja más corta en la realización de los cálculos, ya que es la que soporta más carga. Por lo tanto, se realizan las distribuciones de cargas "1", "2" y "3", donde se calculan los momentos máximos generados por cada distribución, al igual se calculan las cantidades de acero máximo positivo respectivamente; para luego hacer el análisis de aceros y cargas. Adicionalmente, también se trabaja con la franja "4" para comparar sus resultados a los anteriores.

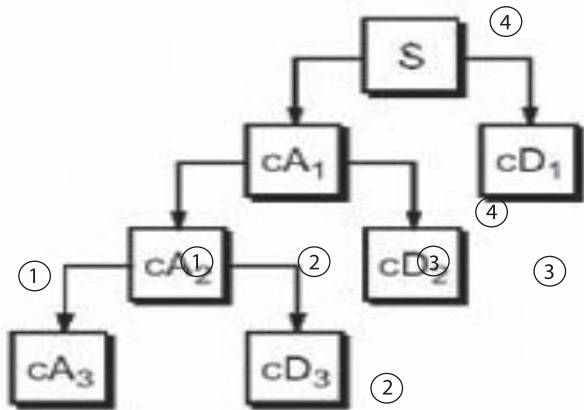


Figura Nº 6. “Distribución de cargas sobre tres franjas cualesquiera para losa rectangular”. Fuente: Elaboración propia.

### 4. 3.1. Acero positivo ( $A_s^+$ )

#### 4.3.1.a. Cálculo de Momentos máximos

Distribución ① y ③:

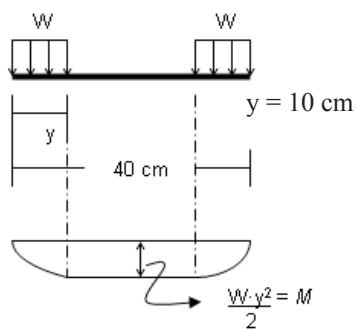


Figura Nº 7. “Distribución de cargas para franjas 1 y 3”. Fuente: Elaboración propia.

- $$w_{\text{máx(experimental)}} = 0.632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$$

(por centímetro lineal de franja)

- $$M_{1,3} = \frac{wxy^2}{2}$$

$$M_{1,3} = \frac{(0.632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}) \cdot (10\text{cm})^2}{2}$$

$$M_{1,3} = 31.6 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

Distribución ②:

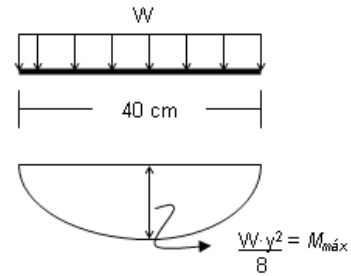


Figura Nº 8. “Distribución de cargas para franja 2”. Fuente: Elaboración propia.

- $$M_2 = \frac{W \cdot l^2}{8}$$

$$M_2 = \frac{(0.632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}) \cdot (40\text{cm})^2}{8}$$

$$M_2 = 126.4 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

Distribución ④:

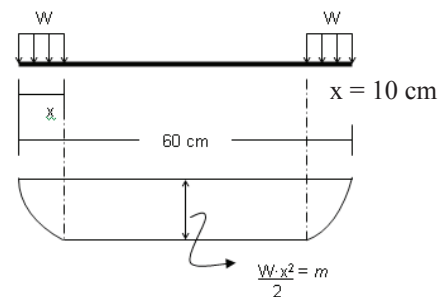


Figura Nº 9. “Distribución de cargas para franja 4”. Fuente: Elaboración propia.

- $$M_4 = \frac{W \cdot x^2}{2}$$

$$M_4 = \frac{(0.632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}) \cdot (10\text{cm})^2}{2}$$

$$M_4 = 31.6 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

#### 4.3.1.b. Cálculo del acero

Haciendo referencia al flujograma para el cálculo del acero dado momento, presentado en el Flujograma 1, se realizan los siguientes pasos y cálculos.

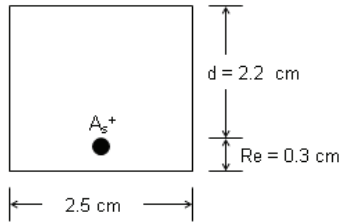


Figura Nº 10. "Dimensiones de sección transversal de la losa". Fuente: Elaboración propia.

- $c = \frac{3}{8} \cdot d$
- $c = \frac{3}{8} \cdot (2.2\text{cm})$
- $c = 0.825$
- $\beta_1 = 1.05 - \frac{f'_c}{1400}$  y  $0.65 < \beta_1 < 0.85$

$$\beta_1 = 1.05 - \frac{212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{1400 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = 0.89 \approx 0.85$$

- $a = \beta_1 \cdot c$
- $a = (0.85) \cdot (0.825\text{cm})$
- $a = 0.701\text{cm}$

- $M_{uo} = \phi \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right);$

donde  $\phi = 0.9$

$$M_{uo} = (0.9) \cdot (0.85) \cdot \left( 212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) \cdot (0.701\text{cm}) \cdot (2.5\text{cm}) \cdot \left( 2.2\text{cm} - \frac{0.701\text{cm}}{2} \right)$$

$$M_{uo} = 525.67\text{kgf} \cdot \text{cm}$$

Para  $M_{1,3} = M_4 = 31.6\text{kgf} \cdot \text{cm}$ :

$M_{uo} > M_{u(\text{diseño})} \rightarrow$  Simplemente Armada

- $a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2.614 \cdot M_u}{f'_c \cdot b}}$
- $a = 2.2\text{cm} - \sqrt{(2.2\text{cm})^2 - \frac{(2.614) \cdot (31.6\text{kgf} \cdot \text{cm})}{(212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}) \cdot (2.5\text{cm})}}$
- $a = 0.036\text{cm}$

- $A_s = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{F_y}$
- $A_{s(1,3y4)} = \frac{(0.85) \cdot \left( 212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) \cdot (0.036\text{cm}) \cdot (2.5\text{cm})}{3637 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}$
- $A_{s(1,3y4)} = 0.0045\text{cm}^2 = 0.45\text{mm}^2$

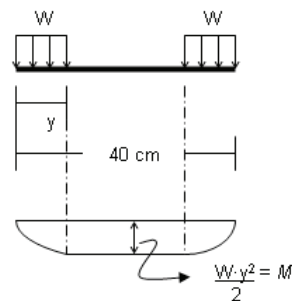
Para  $M_2 = 126,4\text{kgf} \cdot \text{cm}$ :

$M_{uo} > M_{u(\text{diseño})} \rightarrow$  Simplemente Armada

- $a = 2.2\text{cm} - \sqrt{(2.2\text{cm})^2 - \frac{(2.614) \cdot (126.4\text{kgf} \cdot \text{cm})}{(212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}) \cdot (2.5\text{cm})}}$
- $a = 0.145\text{cm}$
- $A_{s(2)} = \frac{(0.85) \cdot \left( 212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) \cdot (0.145\text{cm}) \cdot (2.5\text{cm})}{3637 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}$
- $A_{s(2)} = 0.018\text{cm}^2 = 1.8\text{mm}^2$

### 3.2. Cargas

Distribución ① y ③:

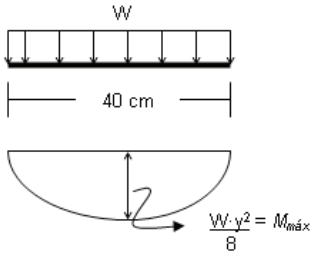


$$m = \frac{W \cdot y^2}{2}$$

$$104 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = \frac{W \cdot (10 \text{ cm})^2}{2}$$

$$W = 2.08 \text{ kgf/cm}^2$$

Distribución ②:

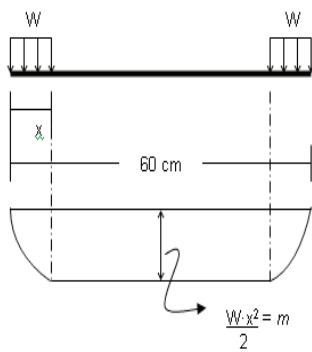


$$m = \frac{W \cdot l^2}{8}$$

$$104 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = \frac{W \cdot (40 \text{ cm})^2}{8}$$

$$W = 0.52 \text{ kgf/cm}^2$$

Distribución ④:



$$m = \frac{W \cdot x^2}{2}$$

$$104 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = \frac{W \cdot (10 \text{ cm})^2}{2}$$

$$W = 2.08 \text{ kgf/cm}^2$$

#### 4.4. Cálculo de la carga distribuida por el método de marcus

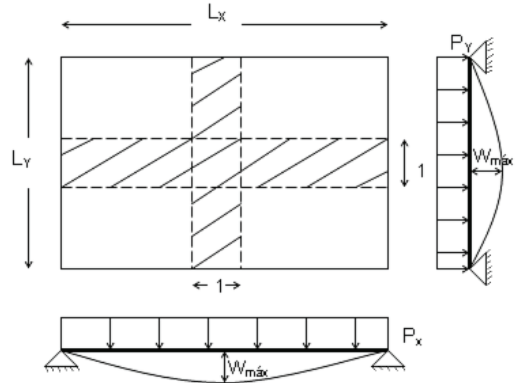


Figura N° 11. “Distribución de cargas sobre las franjas centrales (claro corto y claro largo). Fuente: Elaboración propia.

$$L_y = 40 \text{ cm.}$$

$$L_x = 60 \text{ cm.}$$

La deflexión es igual en ambas direcciones.

A partir de la carga distribuida experimental se calculan los momentos por el método de Marcus, para comparar el Acero calculado con el acero colocado experimentalmente.

Mediante el método de Marcus se obtienen los momentos en ambas direcciones, y con éstos se calculan los aceros para cada dirección para luego ser sumados y su totalidad ser comparado con el acero colocado experimentalmente.

##### 4.4.1. Cálculo del momento en ambas direcciones

$$\text{Con } P_o = 0,632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$P_x = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} \cdot P_o$$

$$P_x = \frac{(40 \text{ cm})^4}{(40 \text{ cm})^4 + (60 \text{ cm})^4} \cdot 0,632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$P_x = 0,104 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$



$$P_y = \frac{Lx^4}{Lx^4 + Ly^4} \cdot P_o$$

$$P_y = \frac{(60cm)^4}{(40cm)^4 + (60cm)^4} \cdot 0.632 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$P_y = 0.528 \frac{kgf}{cm^2}$$

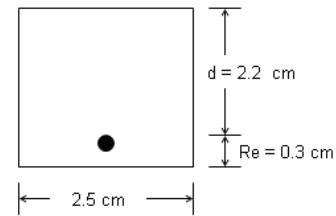


Figura Nº 12. "Dimensiones de sección transversal de la losa". Fuente: Elaboración propia.

$$P_o = P_x + P_y$$

$$P_o = (0.104 + 0.528) \frac{kgf}{cm^2}$$

$$P_o = 0.632 \frac{kgf}{cm^2}$$

Luego el Momento será:

$$M_x = P_{ox} \cdot L_x^2 \cdot \alpha_n$$

$$M_y = P_{oy} \cdot L_y^2 \cdot \beta_n$$

Como se observa en la figura, la losa se trata en las dos direcciones como un conjunto de vigas simplemente apoyadas, para este tipo de losa se tienen los valores de  $\alpha_n = \frac{1}{8}$  y  $\beta_n = \frac{1}{8}$ , luego sustituyendo se obtienen los momentos:

$$M_x = 0.104 \frac{kgf}{cm^2} \cdot (60cm)^2 \cdot \frac{1}{8}$$

$$M_x = 46.907 \frac{kgf \cdot cm}{cm}$$

$$M_y = 0.528 \frac{kgf}{cm^2} \cdot (40cm)^2 \cdot \frac{1}{8}$$

$$M_y = 105.542 \frac{kgf \cdot cm}{cm}$$

4.4.2.- Cálculo del acero en ambas direcciones dado los momentos

Para realizar este cálculo, se siguen los pasos del flujograma presentado en el Flujograma 1, dado un momento.

4.2.a. Cálculo de acero en la dirección "x" ( $A_x$ ) dado momento ( $M_x$ )

Donde:

$$M_{u(diseño)} = 46.907 kgf \cdot cm$$

$$c = \frac{3}{8} \cdot d$$

$$c = \frac{3}{8} \cdot (2.2cm)$$

$$c = 0.825cm$$

$$\beta_1 = 1.05 - \frac{f'_c}{1400} \quad y \quad 0.65 < \beta_1 < 0.85$$

$$\beta_1 = 1.05 - \frac{212 \frac{kgf}{cm^2}}{1400 \frac{kgf}{cm^2}} = 0.89 \approx 0.85$$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$a = (0.85) \cdot (0.825cm)$$

$$a = 0.701cm$$

$$M_{uo} = \phi \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right); \quad \text{donde}$$

$$\phi = 0.9$$

$$M_{uo} = (0.9) \cdot (0.85) \cdot \left( 212 \frac{kgf}{cm^2} \right) \cdot (0.701cm) \cdot (2.5cm) \cdot$$

$$\cdot \left( 2.2cm - \frac{0.701cm}{2} \right)$$

$$M_{uo} = 525.67 kgf \cdot cm$$

y en este caso:

$$M_{uo} > M_{u(diseño)} \rightarrow \text{Simplemente Armada}$$

Luego:

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2.614 \cdot M_u}{f'_c \cdot b}}$$

$$a = 2.2cm - \sqrt{(2.2cm)^2 - \frac{(2.614) \cdot (46.907kgf \cdot cm)}{\left(212 \frac{kgf}{cm^2}\right) \cdot (2.5cm)}}$$

$$a = 0.053$$

$$A_{sx} = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{F_y}$$

$$A_{sx} = \frac{(0.85) \cdot \left(212 \frac{kgf}{cm^2}\right) \cdot (0.053cm) \cdot (2.5cm)}{\left(3637 \frac{kgf}{cm^2}\right)}$$

$$A_{sx} = 0.0066cm^2 = 0.66mm^2$$

4.4.2.b. Cálculo del acero en la dirección “y” ( $A_{sy}$ )  
 dado momento ( $M_y$ )

Donde el  $M_{u(diseño)} = 105.5414kgf \cdot cm$

$$c = \frac{3}{8} \cdot d$$

$$c = \frac{3}{8} \cdot (2.2cm)$$

$$c = 0.825cm$$

$$\beta_1 = 1.05 - \frac{f'_c}{1400} \text{ y } 0.65 < \beta_1 < 0.85$$

$$\beta_1 = 1.05 - \frac{212 \frac{kgf}{cm^2}}{1400 \frac{kgf}{cm^2}} = 0.89 \approx 0.85$$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$a = (0.85) \cdot (0.825cm)$$

$$a = 0.701cm$$

$$M_{uo} = \phi \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right);$$

donde  $\phi = 0.9$

$$M_{uo} = (0.9) \cdot (0.85) \cdot \left(212 \frac{kgf}{cm^2}\right) \cdot (0.701cm) \cdot (2.5cm) \cdot \left(2.2cm - \frac{0.701cm}{2}\right)$$

$$M_{uo} = 525.67kgf \cdot cm$$

y en este caso:

$$M_{uo} > M_{u(diseño)} \rightarrow \text{Simplemente Armada}$$

Luego:

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2.614 \cdot M_u}{f'_c \cdot b}}$$

$$a = 2.2cm - \sqrt{(2.2cm)^2 - \frac{(2.614) \cdot (105.5414kgf \cdot cm)}{\left(212 \frac{kgf}{cm^2}\right) \cdot (2.5cm)}}$$

$$a = 0.122cm$$

$$A_{sy} = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{F_y}$$

$$A_{sy} = \frac{(0.85) \cdot \left(212 \frac{kgf}{cm^2}\right) \cdot (0.122cm) \cdot (2.5cm)}{\left(3637 \frac{kgf}{cm^2}\right)}$$

$$A_{sy} = 0.0151cm^2 = 1.51mm^2$$

Luego el  $A_s$  total a comparar será:

$$A_{st} = A_{sx} + A_{sy}$$

$$A_{st} = 0.66mm^2 + 1.51mm^2$$

$$A_{st} = 2.17mm^2$$

#### 4.5. Cálculo de los momentos por el método de la teoría de placas y láminas de Timoshenko

Aplicado para placas rectangulares simplemente apoyadas uniformemente cargadas. Todas las fórmulas son extraídas de la Figura 13 y de la Tabla 2, presentadas a continuación.

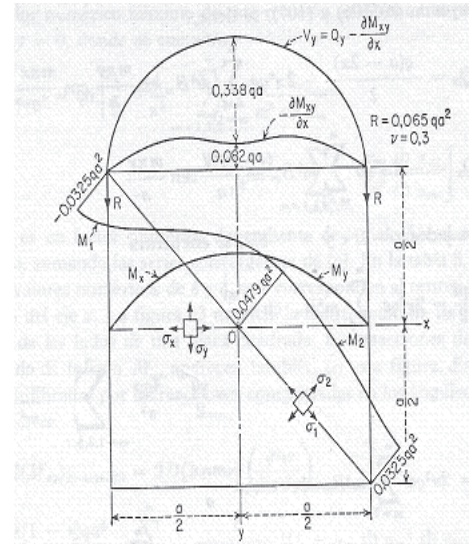


Figura Nº 13. "Distribución de los momentos para una placa rectangular". Fuente: S. Timoshenko. Teoría de Placas y Láminas

$b/a$	$w_{\max} = \alpha \frac{qa^4}{D}$	$(M_x)_{\max} = \beta qa^2$	$(M_y)_{\max} = \beta_1 qa^2$	$(Q_x)_{\max} = \gamma qa$	$(Q_y)_{\max} = \gamma_1 qa$	$(V_x)_{\max} = \delta qa$	$(V_y)_{\max} = \delta_1 qa$	$R = nqa^2$
	$\alpha$	$\beta$	$\beta_1$	$\gamma$	$\gamma_1$	$\delta$	$\delta_1$	$n$
1,0	0,00406	0,0479	0,0479	0,338	0,338	0,420	0,420	0,065
1,1	0,00485	0,0554	0,0493	0,360	0,347	0,440	0,440	0,070
1,2	0,00564	0,0627	0,0501	0,380	0,353	0,455	0,453	0,074
1,3	0,00638	0,0694	0,0503	0,397	0,357	0,468	0,464	0,079
1,4	0,00705	0,0755	0,0502	0,411	0,361	0,478	0,471	0,083
1,5	0,00772	0,0812	0,0498	0,424	0,363	0,486	0,480	0,085
1,6	0,00830	0,0862	0,0492	0,435	0,365	0,491	0,485	0,086
1,7	0,00883	0,0908	0,0486	0,444	0,367	0,496	0,488	0,088
1,8	0,00931	0,0948	0,0479	0,452	0,368	0,499	0,491	0,090
1,9	0,00974	0,0985	0,0471	0,459	0,369	0,502	0,494	0,091
2,0	0,01013	0,1017	0,0464	0,465	0,370	0,503	0,496	0,092
3,0	0,01223	0,1189	0,0406	0,493	0,372	0,505	0,498	0,093
4,0	0,01282	0,1235	0,0384	0,498	0,372	0,502	0,500	0,094
5,0	0,01297	0,1246	0,0375	0,500	0,372	0,501	0,500	0,095
$\infty$	0,01302	0,1250	0,0375	0,500	0,372	0,500	0,500	0,095

Tabla 2. "Factores  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $n$  para placas rectangulares simplemente apoyadas uniformemente cargadas". Fuente: S. Timoshenko. Teoría de Placas y Láminas

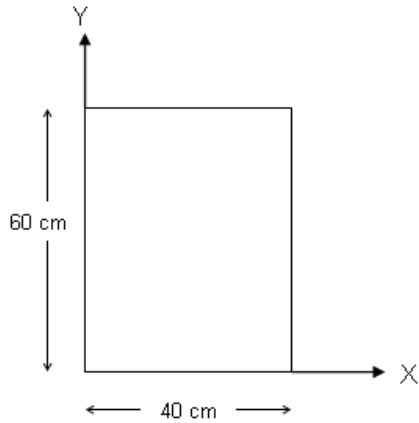


Figura N° 14. "Sección de la losa con direcciones invertidas". Fuente: Elaboración propia

$$a = 40 \text{ cm}$$

$$b = 60 \text{ cm}$$

Entrando en la tabla con  $\frac{b}{a} = \frac{60}{40} = 1,5$ ; tomando

$$q = 0.632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$$

Según la tabla anterior:

- Momentos en la dirección x:

$$M_{x(\text{máx})} = \beta \cdot q \cdot a^2 \text{ y } \beta = 0.0812$$

$$M_{x(\text{máx})} = 0.0812 \cdot 0.632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}} \cdot (40\text{cm})^2$$

$$M_{x(\text{máx})} = 82.11 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

- Momentos en la dirección y:

$$M_{y(\text{máx})} = \beta_1 \cdot q \cdot a^2 \text{ y } \beta_1 = 0.0498$$

$$M_{y(\text{máx})} = (0.0498) \cdot \left(0.632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}\right) \cdot (40\text{cm})^2$$

$$M_{y(\text{máx})} = 50.36 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

- Cargas en la dirección x:

$$Q_{x(\text{máx})} = \gamma \cdot q \cdot a \text{ y } \gamma = 0.424$$

$$Q_{x(\text{máx})} = (0.424) \cdot \left(0.632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}\right) \cdot (40\text{cm})$$

$$Q_{x(\text{máx})} = 10.72 \text{kgf}$$

- Cargas en la dirección y:

$$Q_{y(\text{máx})} = \gamma_1 \cdot q \cdot a \text{ y } \gamma_1 = 0.363$$

$$Q_{y(\text{máx})} = (0.363) \cdot \left(0.632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}\right) \cdot (40\text{cm})$$

$$Q_{y(\text{máx})} = 9.18 \text{kgf}$$

- Cortes en la dirección x:

$$V_{x(\text{máx})} = \delta \cdot q \cdot a \text{ y } \delta = 0.486$$

$$V_{x(\text{máx})} = (0.486) \cdot \left(0.632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}\right) \cdot (40\text{cm})$$

$$V_{x(\text{máx})} = 12.29 \text{kgf}$$

- Cortes en la dirección y:

$$V_{y(\text{máx})} = \delta_1 \cdot q \cdot a \text{ y } \delta_1 = 0.480$$

$$V_{y(\text{máx})} = (0.480) \cdot \left(0.632 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}\right) \cdot (40\text{cm})$$

$$V_{y(\text{máx})} = 12.13 \text{kgf}$$

4.5.1. Cálculo del acero en ambas direcciones dados los momentos

Siguiendo los pasos del flujograma presente en el Flujograma 1, cálculo de acero dado momento, se obtienen los siguientes resultados.

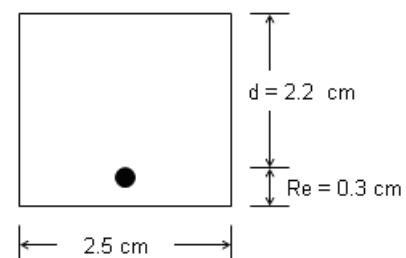


Figura N° 15. "Dimensiones de sección transversal de la losa". Fuente: Elaboración propia.

4.5.1.a. Cálculo del acero en la dirección "x" ( $A_{sx}$ )  
 dado momento ( $M_x$ )

Donde:

- $M_{u(diseño)} = 82.11 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$

- $c = \frac{3}{8} \cdot d$

$$c = \frac{3}{8} \cdot (2.2 \text{ cm})$$

$$c = 0.825 \text{ cm}$$

- $\beta_1 = 1.05 - \frac{f'_c}{1400}$  y  $0.65 < \beta_1 < 0.85$

$$\beta_1 = 1.05 - \frac{212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{1400 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = 0.89 \approx 0.85$$

- $a = \beta_1 \cdot c$

$$a = (0.85) \cdot (0.825 \text{ cm})$$

$$a = 0.701 \text{ cm}$$

- $M_{uo} = \phi \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right)$ ; donde  $\phi = 0.9$

$$M_{uo} = (0.9) \cdot (0.85) \cdot \left( 212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) \cdot (0.701 \text{ cm}) \cdot (2.5 \text{ cm}) \cdot \left( 2.2 \text{ cm} - \frac{0.701 \text{ cm}}{2} \right)$$

$$M_{uo} = 525.67 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

y en este caso:

$$M_{uo} > M_{u(diseño)} \longrightarrow \text{"Simplemente Armada"}$$

Luego:

- $a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2.614 \cdot M_u}{f'_c \cdot b}}$

$$a = 2.2 \text{ cm} - \sqrt{(2.2 \text{ cm})^2 - \frac{(2.614) \cdot (82.11 \text{ kgf} \cdot \text{cm})}{\left( 212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) \cdot (2.5 \text{ cm})}}$$

$$a = 0.094 \text{ cm}$$

- $A_{sx} = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{F_y}$

$$A_{sx} = \frac{(0.85) \cdot \left( 212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) \cdot (0.094 \text{ cm}) \cdot (2.5 \text{ cm})}{\left( 3637 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)}$$

$$A_{sx} = 0.012 \text{ cm}^2 = 1.2 \text{ mm}^2$$

4.5.1.b. Cálculo del acero en la dirección "y" ( $A_{sy}$ )  
 dado momento ( $M_y$ )

Donde el  $M_{u(diseño)} = 50.36 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$

- $c = \frac{3}{8} \cdot d$

$$c = \frac{3}{8} \cdot (2.2 \text{ cm})$$

$$c = 0.825 \text{ cm}$$

- $\beta_1 = 1.05 - \frac{f'_c}{1400}$  y  $0.65 < \beta_1 < 0.85$

$$\beta_1 = 1.05 - \frac{212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{1400 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} = 0.89 \approx 0.85$$

- $a = \beta_1 \cdot c$

$$a = (0.85) \cdot (0.825 \text{ cm})$$

$$a = 0.701 \text{ cm}$$

- $$M_{uo} = \phi \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right); \quad \text{donde}$$

$$\phi = 0.9$$

$$M_{uo} = (0.9) \cdot (0.85) \cdot \left( 212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) \cdot (0.701\text{cm}) \cdot (2.5\text{cm}) \cdot \left( 2.2\text{cm} - \frac{0.701\text{cm}}{2} \right)$$

$$M_{uo} = 525.67 \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

y en este caso:

$$M_{uo} > M_{u(\text{diseño})} \longrightarrow \text{“Simplemente Armada”}$$

Luego:

- $$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2.614 \cdot M_u}{f'_c \cdot b}}$$

$$a = 2.2\text{cm} - \sqrt{(2.2\text{cm})^2 - \frac{(2.614) \cdot (50.36\text{kgf} \cdot \text{cm})}{\left( 212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) \cdot (2.5\text{cm})}}$$

$$a = 0.057\text{cm}$$

- $$A_{sy} = \frac{0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{F_y}$$

$$A_{sy} = \frac{(0.85) \cdot \left( 212 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) \cdot (0.057\text{cm}) \cdot (2.5\text{cm})}{\left( 3637 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)}$$

$$A_{sy} = 0.0071\text{cm}^2 = 0.71\text{mm}^2$$

Luego el  $A_s$  total a comparar será:

- $$A_{st} = A_{sx} + A_{sy}$$

$$A_{st} = 1.2\text{mm}^2 + 0.71\text{mm}^2$$

$$A_{st} = 1.91\text{mm}^2$$

## 5. Análisis de los resultados

En esta sección se muestra el análisis de los resultados obtenidos en la sección precedente; para mejorar su comprensión, se presentan dichos resultados en tablas comparativas de Excel, comparando cada uno de los métodos entre si con los resultados experimentales.

### 5.1. Análisis comparativo del Método de Líneas de Rotura con Resultado experimental

Es importante recalcar que para el acero colocado experimentalmente ( $A_s = 0.038\text{cm}^2 = 3.8\text{mm}^2$ ), el momento actuante  $M$  es igual a  $104\text{kgf} \cdot \text{cm}$ , momento que es provocado por una carga uniformemente repartida:

- Resultado calculado por líneas de rotura,  $w = 1.11 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$
- Resultado experimental fue  $w = 0.63 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$

Tipo de Cálculo	w(kgf/cm)	w(kgf/m)
Experimental	0,63	63,00
Teórico	1,11	111,00

Tabla 3. “Comparación de resultados”

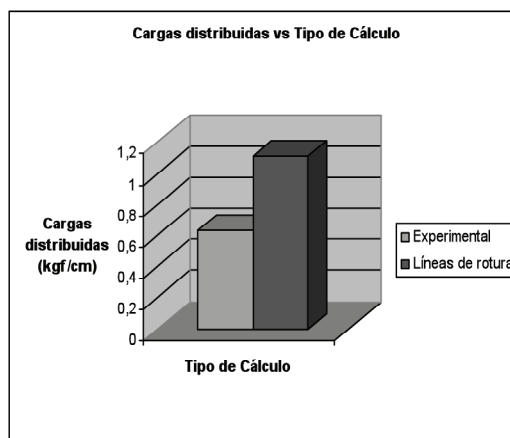


Figura Nº 16. “Gráfica representativa de la carga aplicada sobre la losa, para método experimental y Líneas de Rotura”. Fuente: Elaboración propia.

razón por la cual se estima que la losa ensayada no resiste el momento último actuante, o posiblemente en el contenido de la tesis en referencia, no se

definió correctamente el momento último actuante para el cual la losa llegase a su estado de rotura.

De lo cual se puede inferir que existe discrepancia entre los resultados experimentales con los obtenidos teóricamente, por lo tanto, las losas calculadas por Líneas de Rotura parecerían no poseer un factor de seguridad ( $FS < 1$ ), sino más bien un nivel de incertidumbre, por lo que no es un método confiable para dicho cálculo (resultado que debe ser validado por trabajos posteriores).

### 5.2. Análisis comparativo del Método de Cargas Arbitrarias con Resultado experimental.

Tipo de Cálculo	w(kgf/cm)	w(kgf/m)
Experimental	0,63	63,00
Teórico	0,52	62,00

Tabla 4. "Comparación de resultados"

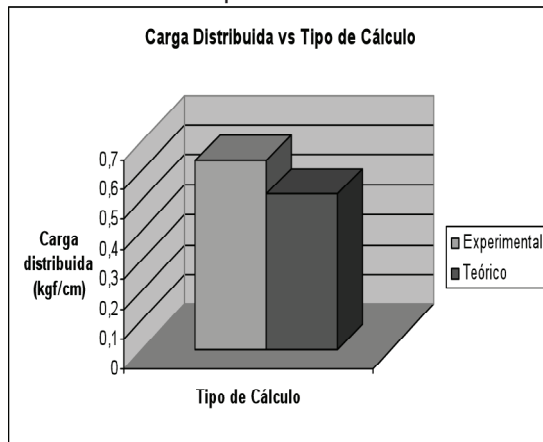


Figura Nº 17. "Gráfica representativa de la carga aplicada sobre la losa, para método experimental y Cargas Arbitrarias". Fuente: Elaboración propia.

Para una misma cantidad de acero y soportando un momento igual al experimental de  $104 \text{kgf} \cdot \text{cm}$ , con el método de Cargas Arbitrarias se obtuvo un valor teórico de carga distribuida de  $w = 0.52 \text{kgf/cm}$ .

La losa ensayada resistió una carga máxima de  $w = 0.63 \text{kgf/cm}$ , lo que quiere decir que la losa va a fallar después de recibir una carga  $w = 0.52 \text{kgf/cm}$ .

### 5.3. Análisis comparativo del Método de Marcus con Resultado experimental.

Tipo de Cálculo	Acero ( $\text{mm}^2$ )
Experimental	3,80
Teórico	2,17

Tabla 5. "Comparación de resultados"

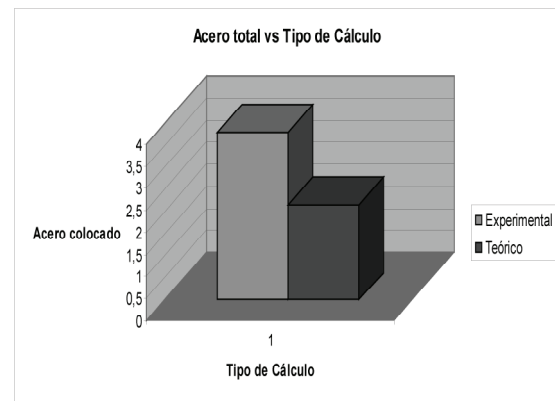


Figura Nº 18. "Gráfica representativa del acero colocado en la losa, para método experimental y Marcus". Fuente: Elaboración propia.

Al comparar por el Método de Marcus el acero teórico  $A_{st} = 2.17 \text{mm}^2$  con el resultado experimental  $A_{st} = 3.80 \text{mm}^2$ , se observa que por este método se puede colocar menos acero para resistir la misma carga distribuida, lo que indica que la losa fallará antes de llegar al momento último  $M_u = 104 \text{kgf} \cdot \text{cm}$ ; es decir, no resiste la totalidad del momento último por lo que el factor de seguridad será  $FS > 1$ . Al igual, lo único que se puede afirmar es que la losa ensayada tenía más acero del necesario, y que esta losa en realidad no falló por carga uniforme.

$$FS = \frac{105.5414}{104} = 1.01$$

### 5.4. Análisis comparativo del Método Teoría de Placas y Láminas de Timoshenko con Resultado experimental.

Es importante recalcar que para el acero colocado experimentalmente ( $A_s = 0.038\text{cm}^2 = 3.8\text{mm}^2$ ), el momento actuante es igual a  $104\text{kgf} \cdot \text{cm}$ , momento que es provocado por una carga uniformemente repartida:

Resultado experimental:

$$w = 0.63 \text{ kgf/cm}$$

Por el método de Timoshenko y para un sólo valor de carga distribuida se calcularon los momentos en "x" y en "y", dando como resultado un momento menor al experimental.

- $M_{x(máx)} = 82.11\text{kgf} \cdot \text{cm}$
- $M_{y(máx)} = 50.36\text{kgf} \cdot \text{cm}$

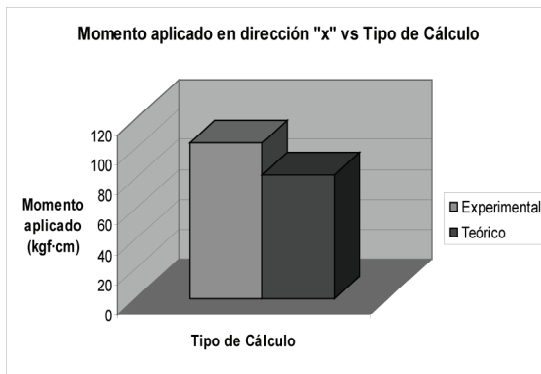


Figura Nº 19. "Gráfica representativa del momento aplicado sobre la losa en la dirección x, para método experimental y Timoshenko". Fuente: Elaboración propia.

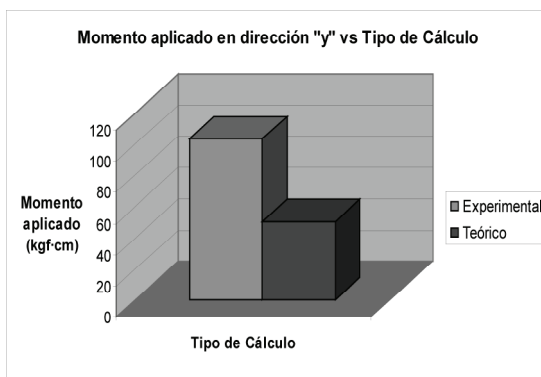


Figura Nº 20. "Gráfica representativa del momento aplicado sobre la losa en la dirección y, para método

experimental y Timoshenko". Fuente: Elaboración propia.

Si se calcularan los aceros en ambas direcciones y se suman para conocer su totalidad, este acero resultaría menor al acero colocado en la losa ensayada.

Adoptándose este diseño como el definitivo, la losa fallará antes de llegar al momento último  $M_u = 104\text{kgf} \cdot \text{cm}$ .

### 5.5. Análisis comparativo de los Métodos estudiados

Se estudiarán los resultados desde dos puntos de vista, comparando primero las cargas uniformemente distribuidas en tres métodos: Experimental, Líneas de Rotura y Cargas Arbitrarias; luego serán comparadas en los métodos restantes, las cantidades de acero total a colocar.

#### 5.5.1.- Análisis comparativo de las Cargas Distribuidas

Método de estudio	Carga Distribuida (kgf/cm)	Carga Distribuida (kgf/m)
Experimental	0,63	63,00
Líneas de Rotura	1,11	111,00
Cargas Arbitrarias	0,52	52,00

Tabla 6. "Comparación de resultados"

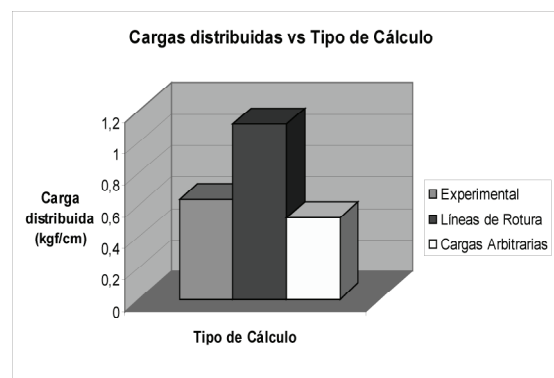


Figura Nº 21. "Gráfica representativa de la carga aplicada sobre la losa; para método experimental, Línea de Rotura y Cargas Arbitrarias". Fuente: Elaboración propia.



De la gráfica anterior se puede inferir que el cálculo teórico que se adapta más al resultado experimental es el método de Cargas Arbitrarias, ya que analizando el factor de seguridad en ambos casos, los resultados obtenidos son:

- Factor de Seguridad de Líneas de Rotura:

$$FS = \frac{0.63}{1.11} = 0.58$$

- Factor de Seguridad de Cargas Arbitrarias:

$$FS = \frac{0.63}{0.52} = 1.21$$

donde se observa que el FS aplicando el método de Cargas Arbitrarias se aproxima más a 1, cuyo valor ( $FS = 1$ ) es el mínimo para que este diseño sea el más apropiado.

Haciendo referencia a la hiperresistencia, la escogencia de un factor de escala basado en dimensiones singulares no da resultados satisfactorios en este tipo de estructuras mixtas (acero y concreto). La reducción del tamaño de las losas incrementa las cargas de agrietamiento y máximas de éstas. Soportando los modelos de microconcreto 15% más de la carga teórica.

### 5.6. Análisis comparativo de los Aceros Totales

Método de estudio	Acero total
Experimental	3,8
Cargas Arbitrarias	1,8
Marcus	2,17
Timoshenko	1,91
Líneas de Rotura	1,49

Tabla 7. "Comparación de resultados"

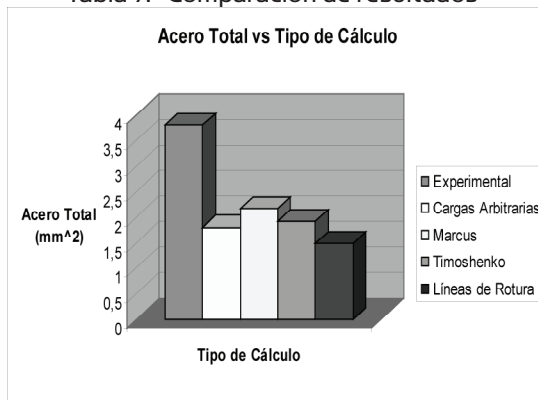


Figura N° 22. "Gráfica representativa del acero colocado en la losa; para método experimental, Cargas Arbitrarias, Marcus y Timoshenko". Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos para este estudio, se puede observar que los aceros calculados teóricamente son de gran similitud, es decir que entre un método y otro no hay discrepancia de los resultados.

Considerando la notable diferencia que existe entre el acero colocado en la losa ensayada con los resultados teóricos, es razonable pensar que puede haber un error en la lectura de los instrumentos de medición que se utilizaron para los ensayos en la tesis anterior, o que el acero colocado no tiene la resistencia indicada, ni la cuantía indicada.

- Hay dudas sobre la validez de los resultados experimentales, pues los especímenes generados se curvaron y no se pudo lograr que apoyaran en los bordes del dispositivo de depresión utilizado.
- No está en absoluto claro el tipo de carga o el dispositivo de carga, que realmente.
- Las líneas de rotura de los especímenes examinados son completamente atípicas, como se puede observar en el anexo D.
- No fue tampoco posible acceder a los resultados de otras tesis anteriores, en donde si se utilizaron cargas generadas por depresión.
- Se considera que las reglas de acceso a la información generada en los Trabajos Especiales de Grado guardados en la Biblioteca Central causan como efecto negativo, la enorme dificultad de seguir líneas de inves-

tigaciones secuenciales, basadas en resultados de T.E.G. sucesivos.

## 6. Conclusiones

A continuación se presentan las siguientes conclusiones:

- Los métodos estudiados, no ofrecen información con respecto a los agrietamientos o las deflexiones generadas por cargas de servicio, exceptuando el Método de Marcus.
- Los resultados obtenidos no alcanzan los esperados, ya que se esperaba que estos métodos dieran resultados que superaran o se aproximaran a los de la losa ensayada, en términos de cargas aplicadas, momentos últimos y cuantías de acero.
- La máxima carga físicamente aplicable por el método de depresión (“vacío”) es de menos de una atmósfera  $q < 10000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ . Debido a las cargas teóricas, se puede concluir que el tamaño de los modelos y la cantidad de armadura colocada en los modelos ensayados obligaba a usar dimensiones mayores en los especímenes.
- A su vez se pudiera poner en tela de juicio la habilidad y precisión con que se usaron los instrumentos de medición utilizados en las tesis anteriores, y la nueva manera en que realmente se ensayaran los especímenes, pues los patrones de líneas de rotura son atípicos.
- El método de Líneas de Rotura puede ser impreciso, ya que si se supone una distribución de líneas de rotura diferente a la establecida puede producir cargas de rotura esperadas aún mayores, y la capacidad de absorción de momentos sería mayor y esto provocaría la falla de la losa.
- El método de Cargas Arbitrarias en relación a la economía en el refuerzo, a pesar de ser el método que da diseños más seguros, puede generar estructuras más costosas que el resto de las teorías; a menos que se discretice mejor el modelo de cálculo en muchas franjas, en la realidad, en la mayoría

de las losas usuales armadas con mallas en cuantías mínimas de acero son el criterio de diseño dominante.

- Al comparar los métodos estudiados con el resultado experimental se puede llegar a pensar que los métodos no son confiables debido a que los resultados no dan un margen de seguridad; a su vez, es de carácter meditar, que puede existir un error en los resultados de la tesis anterior en los que nos estamos basando, debido a la adopción de una escala de reducción errada o a un instrumento defectuoso, apoyos incorrectos o aplicación de sistemas de carga errados.
- La dirección en la que se encuentre el acero no es de importancia, ya que éste no afecta la resistencia de la losa; si la armadura es isotrópica, la resistencia también lo será.

## 7. Recomendaciones

- Una losa debe poseer una seguridad suficiente contra la ruina y debe satisfacer las condiciones que garantizan el uso normal y la durabilidad de la losa. En la práctica, las fallas de las losas sujetas a usos normales son relativamente raras, excepto en estacionamientos o en depósitos, en donde las cargas repetidas o el exceso de cargas suelen ser la regla. Esto no tiene nada que ver con los métodos de cálculo, sino sobre el tipo de uso que reciben las magnitudes de las cargas específicas.
- Se recomienda efectuar nuevamente ensayos de losas con las mismas dimensiones, las mismas características y las mismas propiedades (tipo del concreto, acero y cantidades de aceros, y dimensiones), para que se vuelva a medir y poder constatar los resultados dados. Estos experimentos deben hacerse con mejores instrumentos y con una mayor cantidad de puntos de medición, y con factores de escala revisados.
- La losa ensayada era aparentemente, muy gruesa (25 cm en prototipo) (2.5 cm de modelo), para poderle romper por succión. Por

lo que experimentos futuros deben hacer alguna o algunas de estas tres (3) cosas:

1. Aumentar las luces.
2. Disminuir los espesores.
3. Reducir las cuantías de acero para llevarlas a los valores que nos dan los 4 métodos, pues sus valores se parecen.

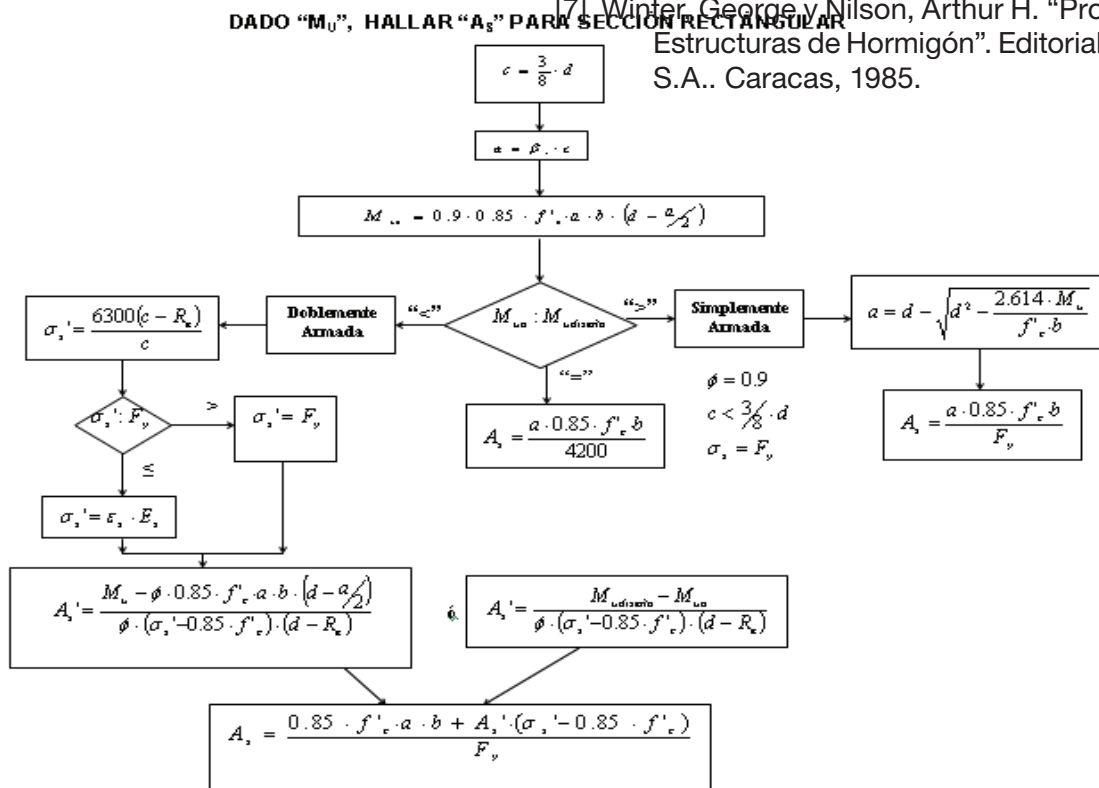
Esto permitiría deducir (deducible de las curvas flecha)

- Realizar de nuevo un estudio comparativo, y evidenciar con éste, que los métodos son confiables a la hora de diseñar losas.
- Tomar en cuenta, de algún modo, el efecto "membrana" que ocurre cuando la losa sufre grandes deflexiones.
- Aplicar los conocimientos que se vayan adquiriendo en el laboratorio cuando se observen obras reales, que son proyectos como el caso de estacionamiento de Parque Central,
- No se puede trabajar en un laboratorio cuyos instrumentos de medición no son confiables, ni se pueden hacer experimentos con escalas

predeterminadas sin verificar si son viables Ya que estos dependen de muchas variables y la que más influye es la calibración de los equipos utilizados (existentes en el laboratorio de materiales), así como de su correcta lectura.

## 7. Referencias

- [1] Apuntes del Ingeniero Gutierrez R., Arnaldo.
- [2] Arruebarrena, Kelly y Estéves, Julia. T.E.G.: "Estudio de Losas Macizas rectangulares, con refuerzo de acero de distribución convencional, afectadas por fuego". UCAB.
- [3] Gómez C., María G. y Noguera O., Verónica. Tesis: "Métodos modernos para el cálculo de losas". UNIMET.
- [4] Mateo C., Roberto y Luque B., Félix. Tesis: "Análisis de las losas de concreto armado por el Método de la Línea de Rotura". UNIMET.
- [5] Nilson, Arthur H. "Diseño de Estructuras de Concreto". Editorial Mc Graw – Hill. Colombia, 1.993.
- [6] Timoshenko, S. y Woinowsky-Krieger, S. "Teoría de Placas y Láminas". Ediciones URMO. España, 1.970.
- [7] Winter, George y Nilson, Arthur H. "Proyecto de Estructuras de Hormigón". Editorial Reverté, S.A.. Caracas, 1985.



Flujograma 1. Fuente: Barreiro, María