

# DISEÑO ÓPTIMO DE LOSAS DE CONCRETO REFORZADO MEDIANTE ANÁLISIS CON ELEMENTOS FINITOS

Ríos Delgado, Miguel Ángel (1), Botello Rionda, Salvador (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato] | [miguel\_dece@hotmail.com]

2 [Aula CIMNE-UG, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [botello@cimat.mx]

## Resumen

Actualmente en el área de Ingeniería Civil no existen las herramientas para hacer análisis y optimización de losas macizas de concreto reforzado, los softwares comerciales ofrecen la capacidad de hacer el análisis, sin embargo no hacen la optimización, de ahí surge la idea de crear una herramienta que realice ambas funciones tomando en cuenta el peralte y el costo del elemento. El análisis se realizó con el programa ALKT que utiliza el método de los elementos finitos, se modificó la entrada de datos del software para que fuera paramétrica y los resultados se analizaron con un programa escrito en lenguaje C. Los materiales que se utilizaron en la investigación fueron acero con un esfuerzo de fluencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup> y concreto con un esfuerzo máximo de compresión de 200 kg/cm<sup>2</sup>. Para obtener los resultados se modelaron 5 losas de iguales dimensiones y condiciones de apoyo, variando únicamente el peralte de la losa. Con los resultados obtenidos se realizó una gráfica costo-peralte para así poder determinar un rango de peraltes óptimos.

## Abstract

Currently in the area of Civil Engineering there are no tools to do analysis and optimization of solid concrete reinforced slabs, commercial software offer the ability to do the analysis, however do not do the optimization, hence the idea of creating a tool that make both functions taking into account the thickness and cost of the element. The analysis was realized using the ALKT program that uses the finite element method, we have modified the data entry of the software so that it was parametric and the results were analyzed with a program written by us in the C language. The materials that were used in the Investigation It was steel with a yield stress of 4200 kg/cm<sup>2</sup> and concrete with a maximum compression stress of 200 kg/cm<sup>2</sup>. To obtain the results we were modeling 5 slabs of equal dimensions and conditions of support, varying exclusively the thickness. With the results obtained, a cost-thickness plot was made, to determine a range of optimum thickness.

## PALABRAS CLAVE

Losa Maciza; Optimización; Concreto Reforzado; Elementos Finitos

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al diseño óptimo de losas macizas de concreto reforzado. En la actualidad la optimización juega un papel muy importante en los costos del proyecto además de ayudar a que los elementos de concreto trabajen con más eficiencia, esto en ocasiones puede traducirse en elementos visualmente más esbeltos y más armónicos con el proyecto arquitectónico.

### Reseña Histórica

El uso del concreto se remonta a la época del Imperio Romano. Desde entonces la técnica ha venido evolucionando hasta convertirse en lo que hoy conocemos como concreto reforzado, principalmente se tenía la idea de aumentar la resistencia a la flexión del concreto ya que el material por sí mismo solo era eficiente bajo esfuerzos de compresión. Durante el siglo XIX se realizan dos producciones más ornamentales que prácticas, el primero es la maceta para flores de Monier y la segunda es la barca de Lambot en Francia[1].

En el año de 1861 François Coignet obtiene la primera patente de techos de concreto reforzado por barras de hierro cruzado. Hasta ese momento todos los trabajos realizados sobre concreto reforzado eran meramente intuitivos y experimentales. En los años de 1894 y 1895 los alemanes Bach y Johann Bauschinger presentan respectivamente, una serie de trabajos consistentes en la publicación de un conjunto de experimentos realizados con probetas de concreto en masa y con piezas dotadas de barras de refuerzo, en las que fijaron los coeficientes de elasticidad longitudinal de las piezas e introdujeron los conceptos de cuantías metálicas y relación de las deformaciones conjuntas [1].

Desde mediados del siglo XX hasta la actualidad, la investigación en los diferentes ámbitos de utilización de hormigón armado, especialmente en obra civil y arquitectura ha avanzado a una velocidad espectacular y vertiginosa [1].

## Actualidad

A mediados del siglo XX se comenzó a sustituir los sistemas de vigueta y bovedilla por un sistema las losas macizas, el diseño de losas de concreto reforzado en nuestro país está especificado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño de Estructuras de Concreto del 2004.

Día a día el diseño arquitectónico va evolucionando, los nuevos arquitectos van creando nuevas tendencias y adoptando corrientes artísticas revolucionarias, en ocasiones desafiando las leyes de la física y la ingeniería, lo que hace que muchas de sus creaciones se vean limitadas por el proceso constructivo o que las propuestas arquitectónicas no estén dentro las condiciones de análisis y diseño de solicitan los métodos utilizados convencionalmente.



**IMAGEN 1: El museo Soumaya es resultado del diseño paramétrico actual.**

Con la sobrepoblación y recesión económica en que vivimos en la actualidad, la demanda de espacios ha venido creciendo exponencialmente por lo que es necesario aprovechar al máximo los recursos que se tienen, no solo en cuanto a materiales sino también en la reducción de las secciones de los elementos estructurales de manera que los espacios dentro de la vivienda puedan aprovecharse mejor, generalmente los métodos se análisis que hasta hoy se siguen utilizando producen diseños muy conservadores que dan como resultados elementos muy robustos los cuales trabajan muy por debajo de la resistencia a la cual se diseñaron.

## Justificación

La metodología que comúnmente se utiliza para hacer el análisis de losas macizas de concreto reforzado apoyadas perimetralmente, es el método de coeficientes publicado por el ACI en 1963. Dicho planteamiento proviene de la solución de la ecuación diferencial de las placas (una ecuación en derivadas parciales), de la cual se obtuvieron los coeficientes para el cálculo de losas rectangulares perimetralmente apoyadas (de ahí el nombre del método). Sin embargo, resulta ser muy inexacto para los elementos que no cumplen con las condiciones que el método exige. Esto puede sortearse mediante el Método de los Elementos Finitos, con el cual es posible analizar losas con geometría compleja. Hoy en día, la capacidad y disponibilidad de computadoras hace posible que dicho método se pueda utilizar de manera eficiente y casi cotidiana, por lo que ese fue el método utilizado para el análisis de las losas.



**IMAGEN 2:** Ejemplo de Losa que convencionalmente no podría ser calculada por método de análisis del Código ACI.

Con el trabajo que se está desarrollando se pretende comparar los resultados del análisis y diseño obtenidos con el método de los elementos finitos contra los resultados que se obtendrían mediante el método de los coeficientes que figura en las Normas Técnicas Complementarias de DF del 2004 y determinar un rango de diseño óptimo con el fin de ahorrar dinero en materiales de construcción sin poner en riesgo la integridad y seguridad de los usuarios.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el análisis con elementos finitos (formulación de láminas) se utilizó el software ALKT (desarrollado en la universidad de Guanajuato) y GiD. Se realizó una entrada de datos especial del programa mediante scripts en TCL-TK de tal manera que con pocos parámetros iniciales se pueda generar un modelo de losa con el fin de que la interacción con el usuario sea más sencilla.

Para la determinación del acero de refuerzo generamos un programa escrito en lenguaje C+ utilizando la teoría del método de diseño de las NTC-DF-2004

Para la optimización se generaron 5 modelos de un con materiales que tenían las mismas propiedades, de lados iguales y con las mismas condiciones de apoyo variando únicamente el peralte de la losa maciza, de cada modelo se cuantificó el volumen de concreto y el peso del acero requerido, así como sus respectivos precios sin tomar en cuenta el costo por la mano de obra, con estos datos se obtuvo el costo por modelo.

Se tabularon los resultados del costo contra peralte, y se realizó una gráfica con la cual se determinó cuales peraltes son los óptimos para el caso que se estudió para obtener estos resultados se procuró que las deflexiones máximas en el centro de la losa fueran menores que la deflexión máxima permitida.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta Tabla 1 donde se resume el costo en materiales de construcción (Acero y Concreto pre-mezclado) por cada modelo así como el peralte con el que se diseñó, el valor de la deflexión resultado del análisis con elementos finitos y el valor teórico máximo permisible de la misma.

Para la investigación se propuso un modelo de losa perimetralmente apoyada de dos tableros cuadrados y unidos por un lado continuo también apoyado. Se propusieron valores de las cargas muertas que incluye un sistema de losa tales como los recubrimientos, acabados, el piso que podría llevar sobre la losa y el peso propio del elemento

de concreto, para el peralte se consideró un rango de datos en los cuales se pudieran obtener resultados significativos es decir que no requirieran el acero mínimo o que las deflexiones fueran muy por encima de las permitidas.

**Tabla 1: Tabla comparativa de resultados del cálculo del costo según el peralte del modelo considerando las deflexiones máximas permisibles.**

	Costo [€]	Peralte[m]	$\delta$ [m]	$\delta$ max[m]
Mod 1	36512	0.1	-0.091701	-0.0333
Mod 2	35805.92	0.11	-0.081701	-0.0333
Mod 3	38644.28	0.12	-0.049332	-0.0333
Mod 4	42504.207	0.14	-0.032359	-0.0333
Mod 5	47218.48	0.16	-0.022543	-0.0333

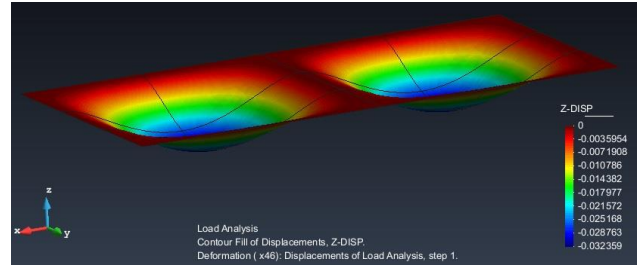
En la siguiente gráfica se presentan los datos de la tabla anterior, nosotros consideramos viables los peraltes efectivos de 14cm a 20 cm ya que después de este rango los valores del costo de elevan de manera considerable por lo que es mejor recurrir a otro sistema constructivo por ejemplo las losas nervadas.



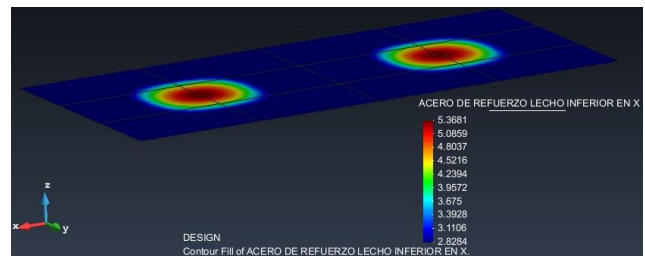
**IMAGEN 3: Gráfica que contiene los resultados obtenidos del diseño de la losa maciza de concreto reforzado utilizando las NTC-DF-2004.**

Se seleccionó la losa de 14cm de peralte (Mod 4) ya que es el primer modelo que no sobrepasa la deflexión máxima permitida en losas.

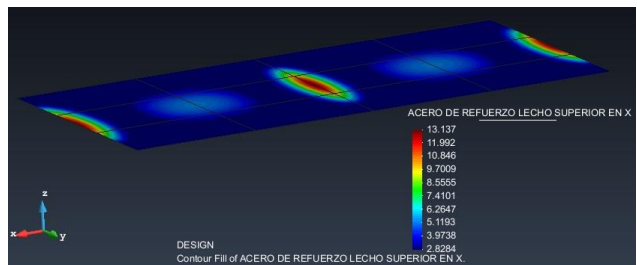
Los resultados del análisis y diseño de la losa seleccionada se muestran en las imágenes 4, 5 y 6



**IMAGEN 4: Configuración deformada de la losa aumentada 46 veces.**



**IMAGEN 5: Acero de refuerzo necesario en el lecho inferior de ambos tableros de la losa en el sentido X.**



**IMAGEN 6: Acero de refuerzo necesario en el lecho superior de ambos tableros de la losa en sentido X.**

Para el lecho inferior se requirió una área de acero de refuerzo máxima de 5.36 cm<sup>2</sup> (zonas color rojo en la Imagen 5).

En el lecho superior el área máxima de acero de refuerzo requerida es de 13.13 cm<sup>2</sup> (Zona color rojo en la imagen 6).

En ambas imágenes la zona color azul indica que ahí solo se requiere el acero mínimo que en este caso resulta ser de  $2.82\text{cm}^2$ , el espacio entre las varillas de refuerzo está en función del diámetro que se seleccione.



IMAGEN 7: Sistema de losa Nervada o aligerada.

Cabe mencionar que con el cálculo hecho con las NTC-DF-2004 el peralte mínimo **para no calcular las flechas en la losa** es de 33 cm, cosa que en la práctica no es recomendable hacer ya que sería una losa demasiado pesada, y en ese caso se tendría que recurrir a un sistema de losa nervada la cual tiene más rigidez y es más ligera (Imagen 7).

## CONCLUSIONES

El resultado del diseño del modelo óptimo resultó ser mejor que el diseño que resulta de las NTC-DF-2004 ya que el peralte necesario que requiere es menor que el que sugiere la norma, por lo tanto, requiere una menor cantidad de concreto lo que hace que el costo sea menor y cumple con el parámetro mínimo de deflexión en losas que establece la norma.

Con la nueva entrada de datos que se generó y el programa para hacer el diseño del acero de refuerzo se pueden analizar modelos y hacer diseños óptimos no solo en tableros sino en una losa completa en un tiempo mucho más corto.

Se puede concluir que para losas de grandes claros no es recomendable utilizar losas macizas, es mejor cambiar a un sistema de losas nervadas que brinden rigidez a la estructura y tengan menos peso.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco la atención, el tiempo para resolver mis dudas, el apoyo brindado y sobre todo los nuevos conocimientos que adquirí en el tiempo que duró la investigación al Dr. Salvador Botello Rionda por permitirme colaborar con él en este proyecto, de igual forma al M.C. Humberto Esqueda Oliva por las buenas ideas y recomendaciones para complementar el proyecto, así como a la propia Universidad de Guanajuato por permitirme ser parte de esta edición de los Veranos UG.

## REFERENCIAS

### Artículo:

[1]Nistal Cordero A.F., Retana Maqueda M. J & Ruiz Abrio T. (2012). El Hormigon: Historia, Antecedentes en Obras y Factores Indicativos de su Resistencia. Tecnología y Desarrollo, Volumen X.

### Libro:

NTC-DF-2004

Código ACI-1963

Oñate E.(1995).Cálculo de Estructuras por el Método de los Elementos Finitos.Ed CIMNE.