



**imcyc**

ANÁLISIS SUGERIDO  
Y PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO PARA  
**ZAPATAS COMBINADAS Y  
LOSAS DE CIMENTACIÓN**

**ACI 336.2R-88**  
Reaprobado en 2002

Los socios activos que hacen posible la labor del IMCYC, son los siguientes:



Grupo Cementos de Chihuahua



**APASCO**



# **Análisis sugerido y procedimientos de diseño para zapatas combinadas y losas de cimentación**

**Comité ACI 336.2R**

Reaprobado en 2002

**Análisis sugerido y procedimientos de diseño para  
zapatas combinadas y losas de cimentación  
ACI 336.2R**

## **Análisis sugerido y procedimientos de diseño para zapatas combinadas y losas de cimentación ACI 336.2R-88 (reaprobado en 2002)**

### **Título original en inglés:**

**Suggested Analysis and Design Procedures for Combined Footings and Mats ACI 336.2R-88 (Reapproved 2002)**

© 2002 American Concrete Institute

© 2006 Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

#### Revisión Técnica:

Ing. Manuel Zárate Aquino

#### Producción editorial:

Ing. Raúl Huerta Martínez

Este libro fue publicado originalmente en inglés. Por lo tanto, cuando existan dudas respecto de algún significado preciso, deberá tomarse en cuenta la versión en inicial. En esta publicación se respetan escrupulosamente las ideas, opiniones y especificaciones originales. Por lo tanto, el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. no asume responsabilidad alguna (incluyendo, pero no limitando, la que se derive de riesgos, calidad de materiales, métodos constructivos, etc.) por la aplicación de los principios o procedimientos de este volumen.

Copyright © 2002 American Concrete Institute

Todos los derechos reservados, incluyendo la reproducción y uso de cualquier forma o medio, incluso el fotocopiado por cualquier proceso fotográfico, o por medio de dispositivo mecánico o electrónico, de impresión, escrito u oral, o grabación para reproducción audio o visual o para el uso en cualquier sistema o dispositivo de almacenamiento y recuperación de la información, a menos que exista permiso escrito obtenido de los propietarios del Copyright.

*La presentación y disposición en conjunto de **Análisis sugerido y procedimientos de diseño para zapatas combinadas y losas de cimentación ACI 336.2R-88 (reaprobado en 2002)** son propiedad del editor. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, por algún sistema o método, electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información), sin consentimiento por escrito del editor.*

#### Derechos reservados:

© 2006 Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

Av. Insurgentes Sur 1846, Col. Florida, Méx. D.F. C.P. 01030

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial. 1052

*Impreso en México*

ISBN 968-464-154-0

# Análisis sugerido y procedimientos de diseño para zapatas combinadas y losas de cimentación

ACI 336.2R

Reaprobado en 2002

Edwrad J. Ulrich  
**Presidente**

Clyde N. Baker, Jr.  
Steven C. Ball  
Joseph E. Bowles  
Joseph P. Colaco  
M.T. Davisson

Jonh A. Focht, Jr.  
M. Gaynor  
Joseph P. Gnaedinger  
Fritz Kramrisch

Hugh S. Lacy  
Jim Lewis  
James S. Notch  
Ingvar Schousboe

Shyam N. Shukla  
**Secretario**

John F. Seidensticker  
Bruce A. Suprenant  
Jagdish S. Syal  
John J. Zils

Este reporte trata del diseño de cimientos que soportan más de una columna de carga de muro. Estos cimientos también se denominan zapatas combinadas y losas de cimentación. Aunque principalmente trata de los aspectos estructurales de diseño, no puede eliminarse las consideraciones de la mecánica de suelos y el proyectista debe enfocarse en la interrelación importante de los dos campos en conexión con el diseño de tales elementos estructurales. Este reporte está limitado a los efectos verticales de todas las condiciones de carga, excluye las losas de pisos apoyadas sobre terreno.

**Palabras clave:** análisis estructural; cargas (fuerzas); cimientos; concreto reforzado; concretos; diseño estructural; esfuerzos; losas de cimentación; mecánica de suelos; presión de tierra; zapatas.;

Es responsabilidad del usuario de este documento establecer las prácticas de salud y seguridad apropiadas a las circunstancias específicas involucradas con su uso. El ACI no hace ninguna representación relacionada con las cuestiones de salud y seguridad y el uso de este documento. El usuario debe determinar la aplicabilidad de todas las limitaciones reguladoras antes de aplicar el documento y debe obedecer todas las regulaciones aplicables, incluyendo pero no limitándose a los estándares de salud y seguridad de la Administración de Salud y Seguridad Laborales de los Estados Unidos.

# CONTENIDO

## Capítulo 1 Generalidades

1.1 Notación . . . . .	1
1.2 Alcance. . . . .	2
1.3 Definiciones y cargas . . . . .	2
1.4 Combinaciones de cargas . . . . .	3
1.5 Presión permisible . . . . .	4
1.6 Consideraciones dependientes del tiempo . . . . .	4
1.7 Una visión general sobre el diseño. . . . .	4

## Capítulo 2 Interacción de la estructura del suelo

2.1 Generalidades . . . . .	5
2.2 Factores que se han de considerar . . . . .	5
2.3 Investigación requerida para evaluar factores variables . . . . .	6

## Capítulo 3 Distribución de las reacciones del suelo

3.1 Generalidades . . . . .	7
3.2 Distribución lineal de la presión del suelo. . . . .	7
3.3 Distribución de la presión del suelo gobernada por el módulo de reacción de la subrasante. . . . .	7

## Capítulo 4 Combinaciones de zapatas

4.1 Zapatas de forma rectangular . . . . .	9
4.2 Zapatas trapezoidales o de forma irregular . . . . .	9
4.3 Cálculos del volteo. . . . .	9

## Capítulo 5 Cimientos en forma de parrilla y zapatas alargadas que soportan más de dos columnas

5.1 Generalidades. . . . .	11
5.2 Zapatas que soportan estructuras rígidas. . . . .	11

5.3 Espaciamiento entre columnas. . . . .	11
5.4 Procedimiento de diseño para zapatas flexibles . . . . .	12
5.5 Procedimiento simplificado para zapatas flexibles . . . . .	12

## Capítulo 6 Losas de cimentación

6.1 Generalidades . . . . .	13
6.2 Método de diferencias finitas . . . . .	15
6.3 Método de parrillas finitas . . . . .	16
6.4 Método de elementos finitos. . . . .	16
6.5 Cargas de columnas . . . . .	18
6.6 Simetría . . . . .	18
6.7 Acoplamiento nodal de efectos del suelo . . . . .	19
6.8 Asentamiento por consolidación. . . . .	23
6.9 Resortes en las orillas para las losas . . . . .	24
6.10 Resultados de salida de una computadora . . . . .	24
6.11 Análisis bidimensional y tridimensional . . . . .	24
6.12 Espesor de la losa . . . . .	25
6.13 Estudios paramétricos . . . . .	25
6.14 Proyecto detallado/construcción de una losa de cimentación . . . . .	25

## Capítulo 7 Resumen . . . . . 27

## Capítulo 8 Referencias

8.1 Referencias especificadas y/o recomendadas . . . . .	29
8.2 Referencias citadas. . . . .	29

# Capítulo 1

## Generalidades

### 1.1 Notación

Se usa la siguiente notación dimensional:

$F$  = fuerza;  $l$  = longitud;  $Q$  = adimensional.

$A$	=	área de la base de la zapata, $l^2$	$I$	=	momento de inercia en el plano de la zapata (o losa de cimentación) respecto a cualquier eje $x(I_x)$ o $y(I_y)$ , $l^4$
$b$	=	ancho de la franja de borde cargada, $l$	$I_B$	=	momento de inercia de un ancho unitario de la superestructura, $l^4$
$B$	=	ancho del cimientto, o ancho del elemento de columna y viga, $l$	$I_F$	=	momento de inercia por un ancho unitario del cimientto, $l^4$
$B_m$	=	ancho de la losa de cimentación, $l$	$I_W$	=	factor de forma de la base que depende de la forma y flexibilidad del cimientto, $l^4$
$B_p$	=	ancho de la placa, $l$	$i$	=	desplazamiento vertical de un nodo, $l$
$c$	=	distancia desde la resultante de las fuerzas verticales hasta la orilla de la base sujeta al volcamiento, $l$	$J$	=	constante de torsión para elementos finitos de parrilla, $l^4$
$D$	=	carga muerta o momentos y fuerzas internas correlacionadas, $F$	$k_p$	=	coeficiente de reacción de la subrasante obtenido de una prueba de placa, $F/l^3$
$D_o$	=	carga muerta para los cálculos del volteo, $F$	$k_{st}$	=	coeficiente de reacción de la subrasante tributaria de un nodo $i$ , $F/l^3$
$D_f$	=	el espesor $D_f$ debe ser el espesor del suelo adyacente a la orilla cargada de la zapata combinada o la losa de cimentación en el momento en que las cargas consideradas sean aplicadas	$k'_{st}$	=	coeficiente revisado de reacción de la subrasante tributaria de un nodo $i$ , $F/l^3$ véase Sección 6.8
$D_{st}$	=	carga muerta en una etapa, que consiste en la carga muerta no factorizada de la estructura y del cimientto en un momento o etapa particular de la construcción, $F$	$k_s$	=	$q/\delta$ = coeficiente (o módulo) de la reacción vertical de la subrasante; término genérico que depende de las dimensiones del área cargada, $F/l^3$
$e$	=	excentricidad de la resultante de todas las fuerzas verticales, $l$	$k_{vt}$	=	valor básico del coeficiente de la reacción vertical de la subrasante para un área cuadrada con ancho $B = 1$ pie, $F/l^3$
$e_i$	=	excentricidad de la resultante de todas las fuerzas verticales con respecto a los ejes "x" e "y" ( $e_x$ y $e_y$ respectivamente), $l$	$K$	=	constante de resorte calculado para el área tributaria del nodo $x$ $k_s$ , $F/l$
$E$	=	efectos verticales de fuerzas simuladoras de sismos o momento o fuerza interna correlacionada, $F$	$K_r$	=	factor de rigidez relativa para el cimientto, $Q$
$E_c$	=	módulo de elasticidad del concreto, $F/l^2$	$L$	=	carga viva o momentos y fuerzas internas correlacionadas producidas por la carga, $F$
$E'$	=	módulo de elasticidad de los materiales usados en la superestructura, $F/l^2$	$L_s$	=	cargas vivas sostenidas usadas para estimar el asentamiento, $F$ . Un valor típico podría ser 50% de todas las cargas vivas
$E_s$	=	módulo de elasticidad del suelo, $F/l^2$	$L_{st}$	=	carga viva de servicio en una etapa que consiste en la suma de todas las cargas vivas no factorizadas en una etapa particular de la construcción, $F$
$F_{vh}$	=	efectos verticales de las cargas laterales tales como empujes de tierra, empujes de agua, empujes de rellenos, presión de la sobrecarga, o cargas laterales similares, $F$	$M'$	=	momento flexionante por longitud unitaria, $F l$
$G$	=	módulo de cortante del concreto, $F/l^2$	$M_E$	=	momento de volteo con respecto a la base del cimientto causado por una fuerza simuladora de sismo, $F l$
$h_w$	=	altura de cualquier muro de cortante de la estructura, $l$	$M_F$	=	momento de volteo con respecto a la base del cimientto, causado por cargas $F_{vh}$ , $F l$
$H$	=	asentamiento del cimientto o de un punto, $l$	$M_u$	=	momento de volteo con respecto a la base del cimientto, causado por cargas de viento, explosión, o cargas laterales similares, $F l$
$H_{ci}$	=	asentamiento por consolidación (o recompresión) en un punto $i$ , $l$			
$\Delta H$	=	magnitud calculada del asentamiento del cimientto, $l$			

- $M_o$  = momento de volteo más grande respecto de la orilla cargada o al centroide de la base,  $F l$   
 $M_R$  = momento resistente resultante,  $F l$   
 $n$  = exponente usado para relacionar la placa  $k_p$  con la losa de cimentación  $k_s$ ,  $Q$   
 $P$  = cualquier fuerza que actúa perpendicularmente al área de la base,  $F$   
 $q$  = presión de contacto o capacidad de carga del suelo calculada o real,  $F/l^2$   
 $q_a$  = presión de contacto o capacidad de carga permisible del suelo  $F/l^2$   
 $q_u$  = resistencia a la compresión no confinada (no drenada) de un suelo cohesivo,  $F/l^2$   
 $q_{ult}$  = capacidad última de soporte del suelo; un valor calculado para determinar la resistencia última de los momentos y cortantes para el diseño del cimiento, también usado en los cálculos de volteo,  $F/l^2$   
 $q_i$  = presión de contacto con el suelo real o calculada en un punto nodal tal como es proporcionada por el análisis de la losa. Las presiones de contacto son evaluadas por el análisis geotécnico para la compatibilidad con  $q_a$  y el desplazamiento del cimiento,  $F/l^2$   
 $\Delta q$  = incremento promedio en la presión del suelo debido a la presión de contacto unitaria superficial,  $F/l^2$   
 $R_v$  = resultante de todas las cargas de diseño que actúan perpendicularmente al área de la base,  $F$   
 $R_{v,min}$  = la menor resultante de todas las fuerzas que actúan perpendicularmente al área de la base bajo cualquier condición de carga simultáneamente con el momento de volteo,  $F$   
 $S$  = módulo de sección del área de proyecto de la losa respecto a un eje especificado;  $S_x$ , respecto al eje  $x$ ;  $S_y$ , respecto al eje  $y$ ,  $I^3$   
 $SR$  = relación de estabilidad (anteriormente factor de seguridad),  $Q$   
 $t_w$  = espesor de los muros de cortante,  $l$   
 $W$  = efectos verticales de las cargas por viento, explosión, o cargas laterales similares,  $F$   
 $X_i$  = deflexión máxima del resorte en el nodo  $i$  como un modelo lineal,  $l$   
 $Z$  = longitud de la base del cimiento o longitud del elemento columna viga,  $l$   
 $Z'$  = longitud efectiva de la zapata medida desde la orilla cargada a la posición en la cual la presión de contacto es cero,  $l$   
 $\delta$  = desplazamiento vertical del suelo,  $l$   
 $\alpha$  = factor de ajuste de la constante de torsión,  $Q$   
 $\lambda$  = factor de evaluación de la rigidez de la zapata definido por la Ec. (5-3),  $1/l$   
 $\mu$  = relación de Poisson,  $Q$   
 $\nu$  = distancia desde la orilla cargada a  $R_{v,min}$  (véase Fig. 4-1 y 4-2),  $l$   
 $\Sigma$  = símbolo de la sumatoria,  $Q$   
 $\gamma$  = peso volumétrico del suelo,  $F/l$

## 1.2 Alcance

Este reporte se refiere al diseño de cimentaciones someras de poca profundidad que soportan más de una sola columna o muro de carga. Aunque el reporte enfoca los aspectos estructurales del diseño, las consideraciones de la mecánica de suelos son vitales y el diseñador

debe incluir el fenómeno de la interacción suelo-estructura en conexión con el diseño de zapatas combinadas y losas de cimentación. El reporte excluye las losas apoyadas sobre el terreno.

## 1.3 Definiciones y cargas

Las presiones de contacto del suelo que actúan sobre zapatas combinadas y losas de cimentación y los esfuerzos internos producidos por ellos, deben ser determinados a partir de una de las combinaciones de carga que se dan en la Sección 1.3.2, la que produzca el valor máximo para el elemento bajo investigación. El momento y el esfuerzo cortante máximos críticos pueden no necesariamente ocurrir de manera simultánea con la carga más grande aplicada en cada columna.

### 1.3.1 Definiciones

**Área de la losa de cimentación** – Área de contacto entre la losa de cimentación y el suelo de apoyo.

**Cimiento en forma de parrilla** – Una zapata combinada, formada al intersectar zapatas continuas, cargadas en los puntos de intersección que cubren una gran parte del área total dentro de los límites exteriores del conjunto.

**Coefficiente de la reacción vertical de la subrasante  $k_s$**  – Relación entre la presión vertical contra la zapata o la losa de cimentación y la deflexión en un punto de la superficie de contacto.

$$k_s = q / \delta$$

**Constante de resorte** – Resistencia del suelo en la carga por unidad de deflexión obtenida como el producto del área tributaria y  $k_s$ . Véase coeficiente de reacción vertical de la subrasante.

**Losa de cimentación** – Una zapata continua que soporta columnas en varias filas en cada dirección, con forma semejante a una losa con o sin depresiones o huecos y un área de al menos 75% del área total dentro de los límites exteriores del conjunto.

**Módulo de esfuerzo-deformación del suelo** – Módulo de elasticidad del suelo y que puede estar aproximadamente relacionado (Bowels 1982) con el coeficiente de la reacción de la subrasante por la ecuación

$$E_s = k_s B (l - \mu^2) t_w$$

**Módulo de la reacción de la subrasante** – Véase coeficiente de la reacción vertical de la subrasante.

**Orilla cargada** – Orilla de la zapata o de la losa de cimentación a lo largo de la cual ocurre la presión de suelo más grande bajo la condición de volteo.

**Presión de contacto  $q$**  – Presión que actúa perpendicularmente al área de contacto entre la zapata y el suelo, producida por el peso de la zapata y todas las fuerzas que actúan sobre ella.

**Peso de la losa** – Peso de la losa de cimentación.

**Presión del suelo** – Véase presión de contacto.