

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS EN
EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO**

TESIS

**Para Optar el Título Profesional de
INGENIERO CIVIL**

ROBERTO J. CALDERON MONCLOA

PROMOCION 91-I

LIMA - PERU

1996

CONTENIDO

Capítulo I	Introducción	3
Capítulo II	Análisis de la información existente ...	7
Capítulo III	Discusión de los modelos estructurales .	15
Capítulo IV	Análisis y diseño	23
Capítulo V	Estudio de los resultados	48
Capítulo VI	Conclusiones y recomendaciones	59
Bibliografía		63
Hojas de Resultados		66

CAPITULO I

INTRODUCCION

CRITERIOS PARA EL PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS EN EDIFICACIONES APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO

CAPITULO 1 INTRODUCCION

OBJETO DEL ESTUDIO

En el presente estudio se desea proponer coeficientes que permitan el predimensionamiento de columnas en edificaciones aporticadas de concreto armado, trabajando con diferentes variantes de un mismo edificio. El predimensionamiento tiene un interés antes que nada práctico, y es con este criterio que hemos enfocado el problema. Partimos de una fórmula base, que relaciona datos directos del problema tales como la carga axial de gravedad que soporta una determinada columna, con coeficientes dependientes de determinadas características de la estructura. El predimensionamiento debe permitir encontrar fácilmente las dimensiones más económicas de los elementos estructurales, sin necesidad de recurrir a numerosos tanteos.

FORMULA BASE

$$b \cdot D = \frac{\tau \cdot P}{f_c \cdot n}$$

donde:

b, D : dimensiones de la columna.

- τ : parámetro obtenido en el análisis, que relaciona la carga axial máxima total que soporta una columna, con la carga axial por cargas de gravedad.
- P : carga total por gravedad.
- n : parámetro obtenido en el análisis, que relaciona las dimensiones de la columna con la carga aplicada.

En el presente estudio se desea obtener valores de τ y de n para distintas variantes del edificio típico, y hacer una tabla de valores recomendables de estos parámetros según el tipo de columna y el piso en análisis. Con dichos valores se puede encontrar fácilmente las dimensiones previas para las columnas. Para ello se ha analizado y verificado una serie de estructuras en la forma que se indica más adelante.

En el capítulo II se revisará la información existente en lo que se refiere a predimensionamiento de columnas de concreto armado.

En el capítulo III se presentará el modelo usado, indicando sus características y variantes.

En el capítulo IV se indica los métodos usados para el análisis y diseño de las diversas variantes del modelo estructural usado.

En el capítulo V se hace al análisis de los resultados del análisis hecho en el capítulo anterior.

En el capítulo VI se presentan los resultados que se deducen del análisis hecho en el capítulo V, de modo de resultar una ayuda práctica para el predimensionamiento.

Finalmente se presenta la bibliografía usada y se presentan los resultados parciales y finales del análisis y diseño de una de las variantes.

CAPITULO II

ANALISIS DE LA INFORMACION EXISTENTE

CAPITULO II
ANALISIS DE LA
INFORMACION EXISTENTE

El Dr. **Ricardo Yamashiro** desarrolló un sistema de predimensionamiento para el caso de las columnas, que se basaba en un "área tributaria acumulada", usando una expresión del tipo

$$A_c = k \times A_T$$

donde:

- A_c : Area de la sección de la columna
- k : Coeficiente de una tabla, según el tipo de columna
- A_T : Area tributaria acumulada

Este método tuvo amplia acogida en su época, sirviendo de base a muchos trabajos posteriores.

Edison Zegarra presenta "un procedimiento sencillo para la determinación de las dimensiones que aproximadamente deben tener las columnas de concreto armado". Para ello analiza 3 edificios de concreto armado aporricados de 10 pisos, siendolas altura de los pisos de 4.50 m el primer piso y de 3 m el resto. Estos tres edificios se diferencian sólo en las luces que son de 4, 6 y 8 m.

Las columnas son cuadradas con refuerzo uniformemente repartido en las 4 caras. Para los materiales usa $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$. Las cargas consideradas son de gravedad y gravedad + sismo. La fuerza sísmica es la indicada en las Normas anteriores, es decir, $H=UKCP$.

La cuantía es de 2 % en todos los casos. Permite un desplazamiento relativo de entrepisos de 1/400 (desplazamiento/altura del entrepiso).

Establece los siguientes tipos de columnas:

Columnas 1 y 2 : interior y exterior de pórtico principal interior

Columnas 3 y 4 : interior y exterior de pórtico principal exterior

Para el dimensionamiento utiliza la expresión $A_g = k \times A_{TA}$, siendo A_g el área de la sección de la columna, k un coeficiente de la tabla que sigue y A_{TA} el área tributaria acumulada.

Piso	Luz	Tipo de columna			
		1	2	3	4
Antepenúltimo piso	4	.0013	.0025	.0022	.0040
	6	.0011	.0020	.0016	.0028
	8	.0011	.0017	.0015	.0023
Segundo piso	4	.0011	.0014	.0014	.0021
	6	.0012	.0014	.0014	.0015
	8	.0012	.0014	.0014	.0015

Esta tabla es para los valores ya señalados de f'_c , p y f_y . Para otros valores el autor presenta fórmulas para hacer las respectivas correcciones. Para los pisos no in-

cludidos en la tabla se interpola, para el primer piso se extrapolaba aumentando en 5 %: los dos últimos pisos se toman iguales al antepenúltimo.

Entre sus conclusiones hay que destacar las siguientes:

Para la columna tipo 1 los coeficientes de la tabla son los menores, mientras que para la columna tipo 4 resultan los mayores.

Para las columnas tipos 1 y 3 los coeficientes son casi constantes en los diferentes pisos, mientras que para las columnas tipos 2 y 4 los coeficientes aumentan rápidamente en los últimos pisos.

En los edificios de luces cortas el sismo influye más que en los de luces largas.

José Merino Correa utiliza el mismo modelo de Edisson Zegarra, con las siguientes diferencias:

- La sección de cada columna es la misma para todos los pisos.
- f'_c es variable, desde 350 kg/cm² en el primer piso, hasta 175 kg/cm² en los últimos pisos.

El objetivo del autor es alcanzar la cuantía de 2 % con la sección constante, variando f'_c a lo alto del edifi-

cio. Obtiene una expresión diferente, la cual relaciona para cada tipo el área de la columna, el área tributaria y la la cuantía:

$$A_c = 10 A_T \left[\frac{(\tau p + c)}{100} A_T + \alpha p + d \right]$$

siendo

τ , c , α , d parámetros que dependen del tipo de columnas

p cuantía

A_T área tributaria

A_c área de la columna

Esta expresión fue deducida por mínimos cuadrados. A continuación aplica esta fórmula para cada tipo de columnas. Así, para la columna tipo 1 obtiene:

$$A_c = 10 A_T \left[(0.175p - 3.150) \times 10^{-4} A_T + 1.004 - 0.044p \right] \times \frac{350}{f'_c}$$

Además el autor presenta gráficos obtenidos de estas fórmulas.

Adolfo Gálvez Villacorta presenta un desarrollo de tipo teórico con ciertas hipótesis simplificadoras a fin de determinar las dimensiones preliminares de los elementos estructurales. Sus parámetros principales son : el período fundamental de la estructura y el desplazamiento relativo entre dos pisos consecutivos, los cuales controlan el diseño en una primera aproximación.

En cuanto al modelo, utiliza un sistema estructural aporticado y otro con muros de corte. Plantea algunas hipótesis simplificadoras para poder formular dos modelos matemáticos extremos.

Primer modelo matemático: la rigidez de la estructura varía en cada nivel, de modo que resulte lineal la deformada en el modo fundamental de vibración.

Segundo modelo matemático: la rigidez (y la masa) en cada nivel es la misma. La deformada resulta parabólica.

Hipótesis básicas

Las masas en cada piso son iguales; la planta y las sobrecargas son iguales en todos los pisos.

Las masas de cada piso son puntuales y concentradas a nivel de cada techo. Las masas de columnas y muros también están concentradas a nivel de techo.

La rigidez lateral se obtiene considerando exclusivamente deformaciones por fuerza cortante.

El suelo es firme, no hay rotación en la base.

Obtiene fórmulas del tipo

$$t = 0.37 \sqrt[4]{\frac{(2a+n-1)h^3 L^2 W_u}{T_o^2 n}} \sqrt[4]{\frac{a^3 r}{E}} \sqrt[4]{\frac{X Y}{(X+L)(Y+rL)}}$$

donde t es el lado de la columna cuadrada

a es el "factor de altura" del primer nivel

g aceleración de la gravedad (=980 gal)

h altura del nivel en cm

L luz de las crujías del pórtico principal en m

n número de pisos

r "factor de luz" para los pórticos secundarios

X longitud total del pórtico principal en m

Y longitud total del pórtico secundario en m

E módulo de elasticidad del concreto

W_u peso unitario total de la estructura Tn/m²

T_o parámetro del período fundamental

El coeficiente se ha obtenido de la expresión

$$0.37 = \sqrt[4]{\frac{2 \pi^2}{g}}$$

Además se hacen correcciones para limitar el desplazamiento relativo de entrepisos. También estudia el caso de la estructuración en base a muros de corte, dando un ejemplo de aplicación.

CAPITULO III

DISCUSION DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES

CAPITULO III

DISCUSION DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES

El modelo estructural que hemos tomado como base es un edificio aporticado, formado por 3 pórticos principales de 3 tramos, y 4 pórticos secundarios de 2 tramos, perpendiculares a los anteriores. Las luces de todos los tramos de todos los pórticos son iguales (fig. 1). Este modelo es simétrico en planta. De este modelo obtenemos otro aumentando las dimensiones de las columnas de un eje secundario extremo (fig. 2). El objeto de romper la simetría es introducir una excentricidad estructural. El primer modelo estará, por tanto, sujeto solamente a una excentricidad accidental, mientras que el segundo modelo estará sujeto a la combinación de la excentricidad accidental y la estructural.

En todos los casos la altura del primer piso es de 4.50 m y la de los demás pisos de 3.00 m.

Todas las vigas de cada modelo tendrán la misma sección transversal. Su ancho será siempre de 0.30 m y su peralte total será 1/10 de la respectiva luz entre ejes.

Las columnas serán de 4 tipos:

C1 columna central o interior

C2 columna extrema de pórtico principal

C3 columna extrema de pórtico secundario

C4 columna en esquina

Todas las columnas del mismo tipo tendrán la misma sección y el mismo refuerzo.

La cuantía de las columnas será función solamente del piso de que se trate. Variará linealmente de 0.02 en el primer piso a 0.01 en el último.

Variantes

Llamamos variantes a características del modelo que, al adoptar diversos valores, definen el número de casos por resolver. Estas variantes son:

- Luces de tramos. Toman los valores de 4, 6 y 8 m
- Número de pisos. Es de 4 y 8 pisos
- Resistencia del concreto, f'_c . Es de 210 y 280 kg/m²
- Estructuración, perfectamente simétrica o con excentricidad estructural.

Son, pues, $3 \times 2 \times 2 \times 2 = 24$ casos por resolver.

Cargas aplicadas

A los modelos anteriores se les ha aplicado cargas de gravedad y de sismo correspondientes a un edificio convencional de vivienda. Para las cargas de gravedad se han usado los siguientes valores:

- Peso volumétrico del concreto armado, 2400 kg/m³
- Carga equivalente de tabiquería, 100 kg/m²
- Peso muerto, 100 kg/m²
- Sobrecarga, 200 kg/m², excepto para el último piso, en el que es de 100 kg/m². La carga viva, para el análisis de pórticos, se ha aplicado en todos los tramos y en tramos alternos.

Para obtener la carga sísmica se han tomado en cuenta los siguientes criterios:

- La edificación pertenece a la categoría "C", es decir, a Edificaciones Comunes.
- La edificación está ubicada en la Zona 1.
- Para calcular el peso probable de la edificación se ha tomado el 25% de la carga viva.
- El suelo de cimentación pertenece al grupo I.
- El factor de ductilidad R_d es igual a 4.0
- Se ha considerado una excentricidad accidental igual a $0.05 b_x$, donde b_x es la dimensión del edificio en sentido perpendicular a la dirección de la fuerza sísmica

Combinaciones de cargas

Las combinaciones de cargas usadas son las especificadas en la Norma Técnica de Edificación E-060 sobre Concreto Armado:

$$U = 1.5 \text{ CM} + 1.8 \text{ CV}$$

$$U = 1.25 (\text{CM} + \text{CV} \pm \text{CS})$$

$$U = 0.9 \text{ CM} \pm 1.25 \text{ CS}$$

donde

U resistencia requerida

CM carga muerta

CV carga viva, aplicada ya sea en todos los tramos o en tramos alternos

CS cargas de sismo, debidas a la fuerza sísmica y a momentos de torsión por excentricidad, en 4 combinaciones.

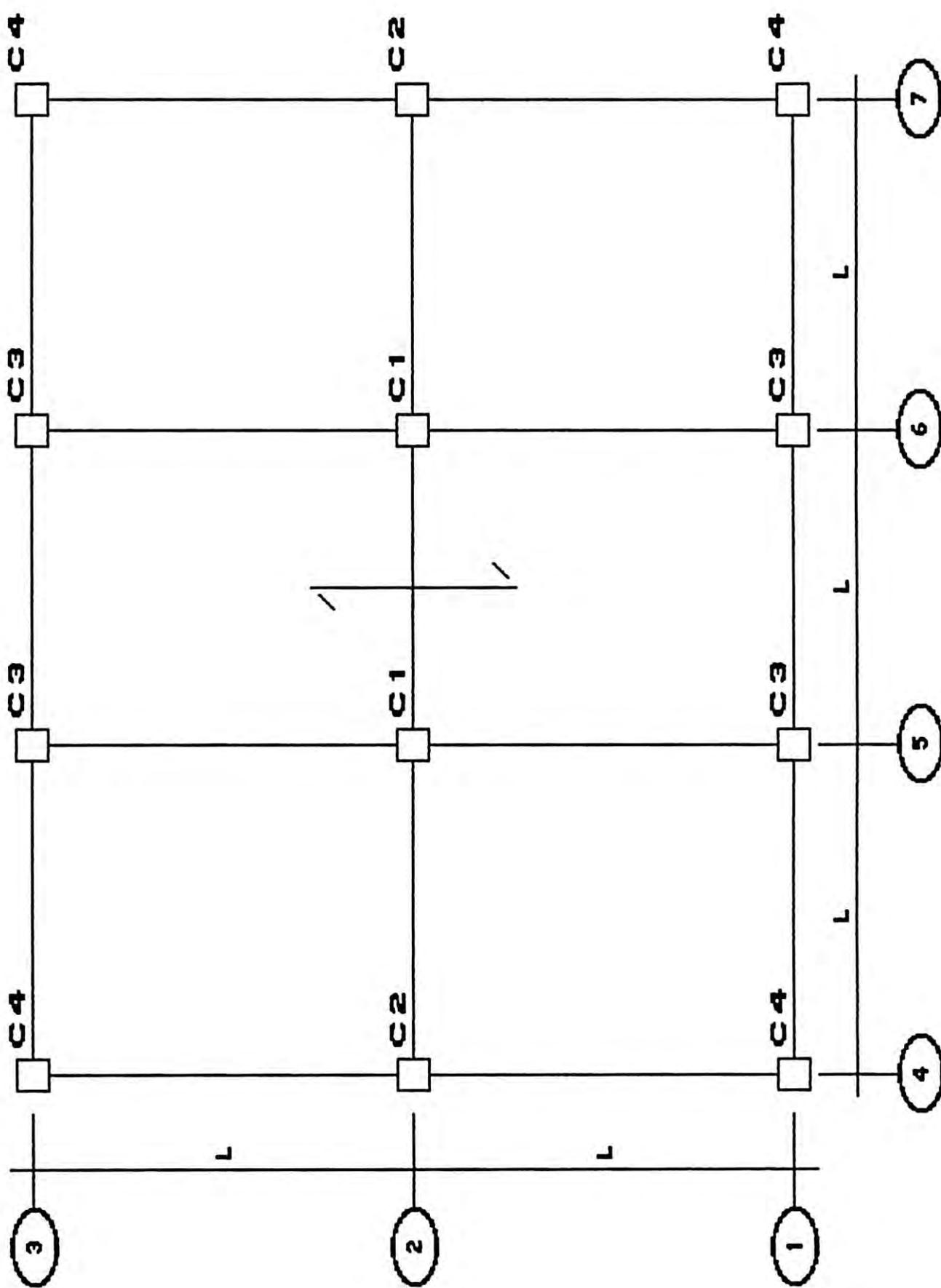


Fig. 1 Planta general

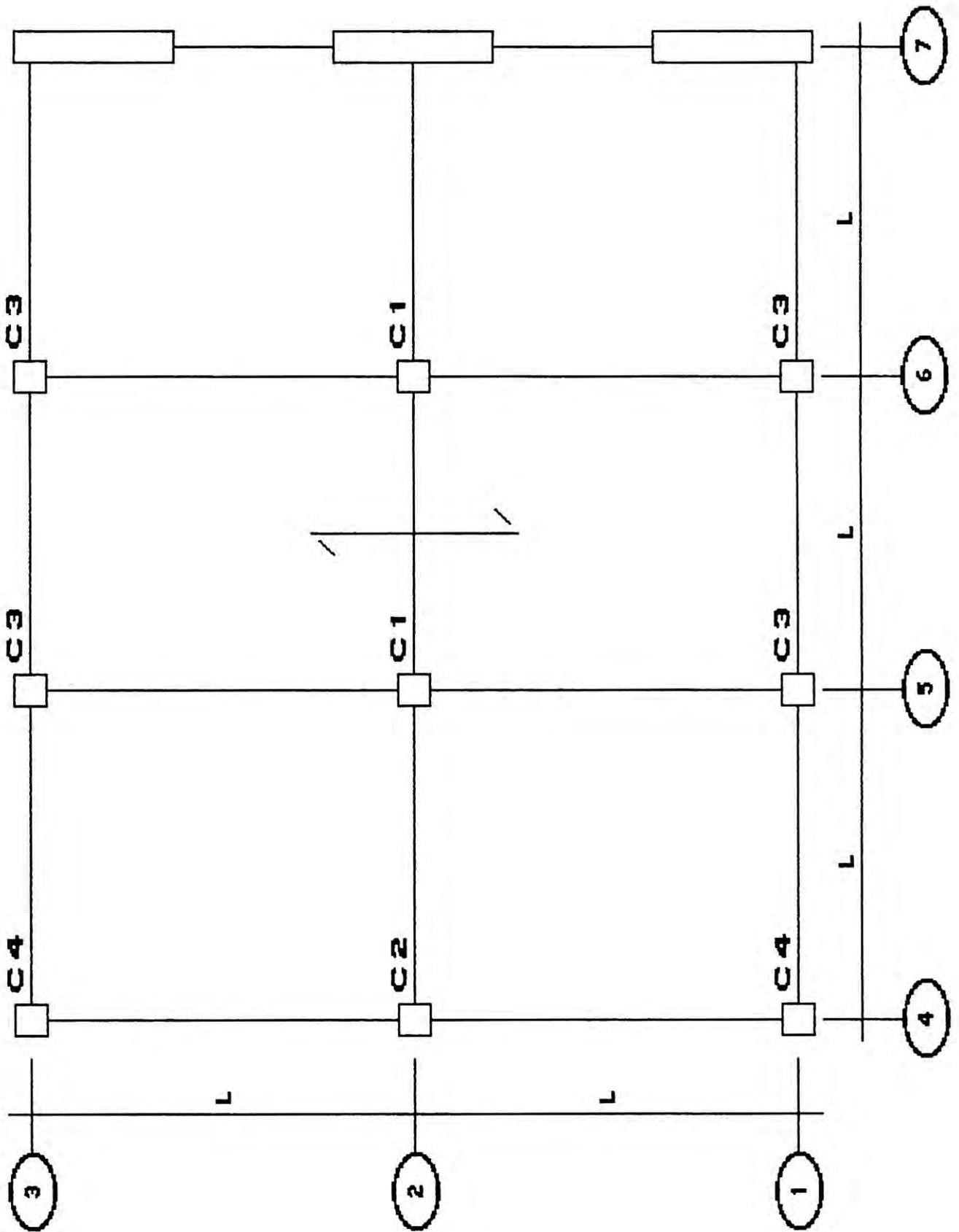


Fig. 2 Planta general

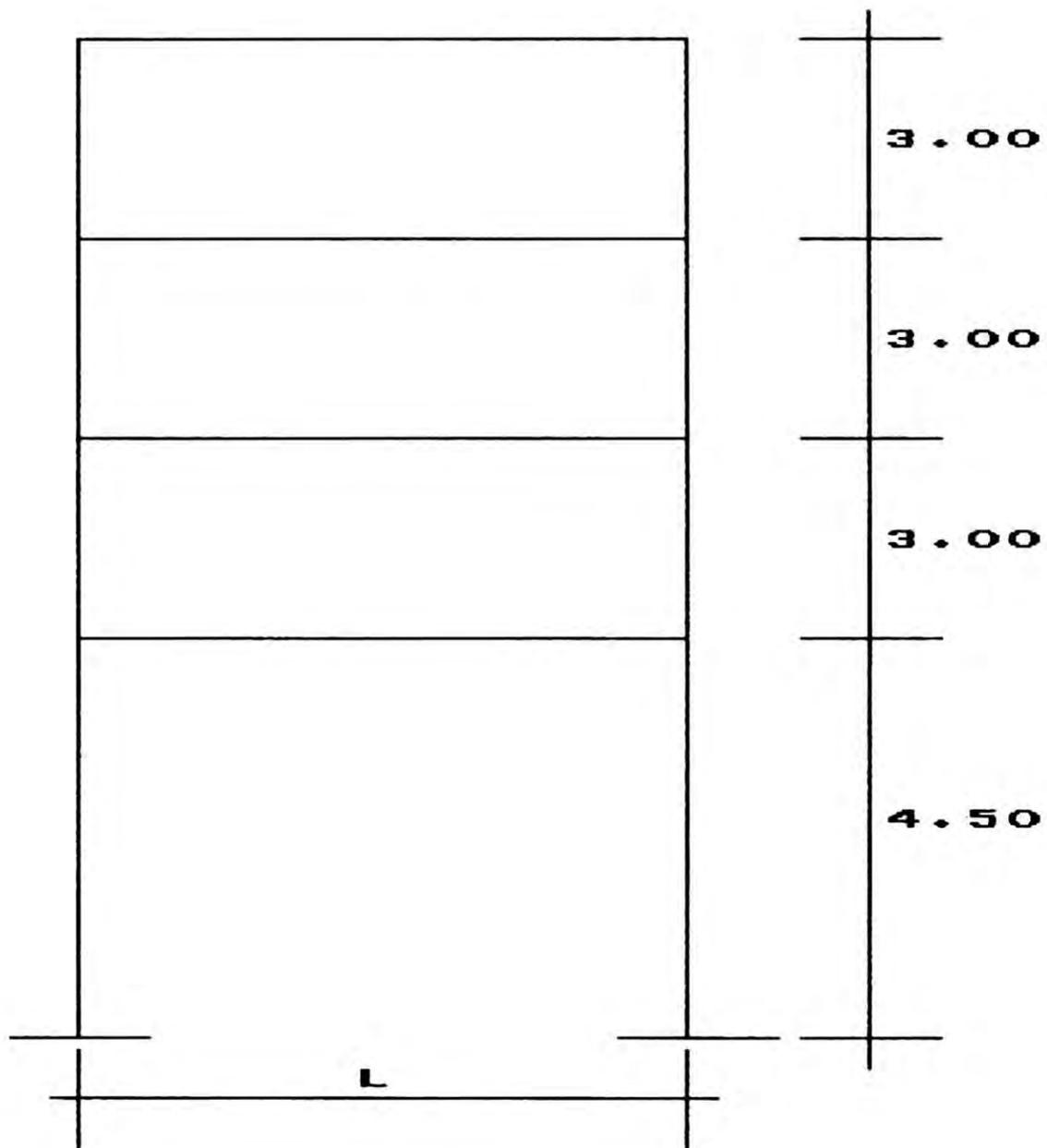


Fig. 3 Elevación

CAPITULO IV

ANALISIS Y DISEÑO

CAPITULO IV ANALISIS Y DISEÑO

Procedimiento

Nuestro punto de partida es la fórmula

$$n = \frac{\tau P}{f'_c b D}$$

en la cual

- n un parámetro que queremos determinar, y que depende del tipo de columna y del piso en que se encuentra.
- τ un parámetro que expresa el incremento de la fuerza axial en la columna debido al sismo.
- P es la carga axial que soporta la columna debida a las cargas de gravedad.
- b.D son las dimensiones de la sección transversal de la columna.

Para resolver el problema planteado procedemos por tanteos. Para cada tipo de edificación (es decir, cada uno de los 24 casos indicados en el Capítulo III), consideramos variables sólo las dimensiones de la sección transversal de las columnas.

Las dimensiones de las secciones de las vigas son invariables, y las mismas para todas ellas. Sólo se tantea con las dimensiones de las columnas. Para cada modelo se

considera constantes las alturas de los pisos, las luces de los tramos, las secciones de las vigas, f'_c , f_y , cargas muertas y vivas, características sísmicas. Las variables serán las dimensiones de las secciones de las columnas.

En cada tanteo verificamos si cada columna en cada piso resiste las cargas ("CONFORME") o no ("NO PASA"). Continuaremos la exposición del procedimiento siguiendo un caso particular, al que llamamos el Caso 1.

El Caso 1 tiene las siguientes variantes:

Luces de los tramos: 4m para todos los casos

Número de pisos: 4

Resistencia del concreto: $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Estructura simétrica, sometida sólo a excentricidad accidental.

Las vigas tendrán todas una sección transversal de 0.30 x 0.40 m. Las secciones de las columnas variarán en cada tanteo. Comenzamos con las siguientes:

1° Piso: 0.40 x 0.40 m , todas las columnas

2° Piso: 0.36 x 0.36 m , todas las columnas

3° Piso: 0.32 x 0.32 m , todas las columnas

4° Piso: 0.28 x 0.28 m , todas las columnas

Una vez decididas las dimensiones iniciales de los elementos, se resuelve la estructura para cargas de grave-

dad y de sismo, y se verifica si las columnas resisten las cargas, teniendo en cuenta distintas combinaciones según reglamento, y según la cuantía establecida.

Resolviendo la estructura, obtenemos CONFORME para todas las columnas, excepto la C2 en el 4º Piso, que NO PASA (ver hoja de resultados N°1).

Una continuación posible sería reducir las secciones de las columnas que resultaron conformes, para ver si pasan con medidas menores, y aumentar la sección de la C2 en el 4º Piso, para que pase. Este procedimiento resultó erróneo, debido a que una columna más robusta toma más fuerza sísmica y requerirá dimensiones aún mayores, mientras que una columna menos robusta tomará menos fuerza sísmica y podrá tener menores dimensiones. Si se tantea de este modo, algunas columnas resultarán demasiado grandes y otras demasiado pequeñas.

La solución que adoptamos parte de los siguientes criterios:

1° La suma de áreas de las secciones transversales de las columnas de cada piso debe ser mínima.

2° Las dimensiones de las columnas en cada piso deben estar relacionadas entre sí por medio de coeficientes,

como por ejemplo:

dimensiones de la columna C1, piso 1:

k1 x b, k2 x b

dimensiones de la columna C2, piso 1:

k3 x b, k4 x b

etc., en donde "b" es un número a tantear, válido para todo un piso. Los coeficientes k1, k2, etc., se pueden presentar en tablas como éstas:

TABLA N° 001

Piso 1	Columna C1	ancho: k1	largo: k2
	Columna C2	ancho: k3	largo: k4
	Columna C3	ancho: k5	largo: k6
	Columna C4	ancho: k7	largo: k8
Piso 2	...		

3° Se han impuesto limitaciones a los valores del coeficiente "n", que son de 0.25 en general y de 0.30 para los primeros pisos de las columnas C1 o interiores.

El tanteo ahora se hace de la siguiente manera:

- Se propone un "b" para cada piso.
- Se propone una tabla de "k" para todas las columnas y todos los pisos.
- Se obtiene las dimensiones de las columnas multi-

plicando b por las respectivas k , según se indicó antes.

- Se resuelve la estructura.
- Si en algún piso **cualquier** columna obtiene un NO PASA, aumentamos " b " para ese piso.
- Si en algún piso **todas** las columnas obtienen CONFORME, disminuimos " b " para ese piso.
- Calculamos nuevamente las dimensiones de las columnas, utilizando las nuevas " b " y la misma tabla de " k ", y resolvemos la estructura.
- Continuamos de este modo hasta que todos los " b " sean los mínimos con los que todas las columnas son CONFORMES.
- Calculamos la suma de áreas de las columnas de cada piso.
- Modificamos la tabla de " k " y repetimos todo el proceso hasta obtener una nueva suma de áreas de columnas por piso
- Repetimos el paso anterior hasta obtener el mínimo valor de la suma de áreas de columnas por piso. En este momento consideramos resuelto el caso considerado.

Continuando con nuestro ejemplo, encontramos los pisos 1 a 3 CONFORMES, mientras que el piso 4 NO PASA.

Para el segundo tanteo tendremos:

Piso 1: $b = 0.39$

Piso 2: $b = 0.35$

Piso 3: $b = 0.31$

Piso 4: $b = 0.29$

La tabla de las "k" N^o 1 está integrada sólo por números "1".

Los resultados están en la hoja de resultados N^o 2; todos están conformes.

Continuamos, modificando las "b":

Piso 1: $b = 0.38$

Piso 2: $b = 0.34$

Piso 3: $b = 0.30$

Piso 4: $b = 0.285$

Hasta que llegamos a la hoja de resultados N^o3, en la que tenemos:

Piso 1: $b = 0.34$

Piso 2: $b = 0.32$

Piso 3: $b = 0.295$

Piso 4: $b = 0.292$

La suma de áreas por piso es

Piso 1 Suma = 1.387

Piso 2 Suma = 1.229

Piso 3 Suma = 1.044

Piso 4 Suma = 1.023

Modificamos la tabla de las "k". Por ejemplo:

TABLA N° 2

Piso 1	Columna C1	ancho: 0.9	largo: 1
	Columna C2	ancho: 1	largo: 1
	Columna C3	ancho: 1	largo: 1
	Columna C4	ancho: 1	largo: 1
Piso 2	Columna C1	ancho: 0.9	largo: 1
	Columna C2	ancho: 1	largo: 1
	Columna C3	ancho: 1	largo: 1
	Columna C4	ancho: 1	largo: 1
Piso 3	Columna C1	ancho: 0.9	largo: 1
	Columna C2	ancho: 1	largo: 1
	Columna C3	ancho: 1	largo: 1
	Columna C4	ancho: 1	largo: 1
Piso 4	Columna C1	ancho: 0.9	largo: 1
	Columna C2	ancho: 1	largo: 1

Columna C3 ancho: 1 largo: 1
Columna C4 ancho: 1 largo: 1

Para el tanteo mantenemos los "b" anteriores:

Piso 1: b = 0.34
Piso 2: b = 0.32
Piso 3: b = 0.295
Piso 4: b = 0.292

Resolvemos como en el caso anterior, hasta llegar a la hoja de resultados N°4. Las sumas de áreas de columnas por piso ahora son:

Piso 1 Suma = 1.380
Piso 2 Suma = 1.144
Piso 3 Suma = 1.055
Piso 4 Suma = 1.034

Repitiendo el proceso las veces que sean necesarias, llegamos a la hoja de resultados N°5. Estos vienen a ser los resultados finales para este caso, siendo la suma de áreas mínimas las siguientes:

Piso 1 Suma = 1.355
Piso 2 Suma = 1.067
Piso 3 Suma = 0.927
Piso 4 Suma = 0.852

Estas cantidades son las menores que hemos obtenido, or lo que consideramos resuelto el primero de los 24 casos.

En el apéndice se presenta los resultados del análisis para todos los modelos. Debe advertirse que, aunque el Reglamento establece como mínima dimensión de una columna que resista fuerzas de sismo 25 cm, aquí no hemos tomado en cuenta esta limitación, pues nuestro objeto es encontrar expresiones generales y no diseñar columnas específicas. Por la misma razón se han variado libremente las dimensiones de las columnas de un piso a otro.

HOJA DE RESULTADOS Nº 1

Caso 1

Edificio de 4 pisos

Luces 4 m

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

Estructura simétrica

COLUMNA C1

PISO 1

.4 x .4

P= 58.58 τ : 1.20 n : 0.210

CONFORME

PISO 2

.36 x .36

P= 42.57 τ : 1.20 n : 0.187

CONFORME

PISO 3

.32 x .32

P= 27.45 τ : 1.20 n : 0.153

CONFORME

PISO 4

.28 x .28

P= 12.16 τ : 1.20 n : 0.089

CONFORME

COLUMNA C2

PISO 1

.4 x .4

P= 34.24 τ : 1.35 n : 0.138

CONFORME

PISO 2

.36 x .36

P= 24.45 τ : 1.31 n : 0.118

CONFORME

PISO 3

.32 x .32

P= 15.34 τ : 1.28 n : 0.091

CONFORME

PISO 4

.28 x .28

P= 6.36 τ : 1.25 n : 0.048

NO PASA

COLUMNA C3

PISO 1

.4 x .4

P= 34.8 τ : 1.24 n : 0.128

CONFORME

PISO 2

.36 x .36

P= 24.9 τ : 1.23 n : 0.112

CONFORME

PISO 3

.32 x .32

P= 15.73 τ : 1.23 n : 0.090

CONFORME

PISO 4

.28 x .28

P= 6.62 τ : 1.23 n : 0.049

CONFORME

COLUMNA C4

PISO 1

.4: x .4

P= 20.59 τ : 1.53 n : 0.094

CONFORME

PISO 2

.36: x .36

P= 14.4 τ : 1.46 n : 0.077

CONFORME

PISO 3

.32: x .32

P= 8.84 τ : 1.40 n : 0.058

CONFORME

PISO 4

.28: x .28

P= 3.53 τ : 1.34 n : 0.029

CONFORME

HOJA DE RESULTADOS Nº 2

Caso 1

Edificio de 4 pisos

Luces 4 m

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

Estructura simétrica

COLUMNA C1

PISO 1

.39 x .39

P= 58.48 $\tau : 1.20$ n : 0.221

CONFORME

PISO 2

.35 x .35

P= 42.49 $\tau : 1.20$ n : 0.198

CONFORME

PISO 3

.31 x .31

P= 27.33 $\tau : 1.20$ n : 0.162

CONFORME

PISO 4

.29 x .29

P= 12.08 $\tau : 1.20$ n : 0.082

CONFORME

COLUMNA C2

PISO 1

.39 x .39

P= 34.15 $\tau : 1.35$ n : 0.144

CONFORME

PISO 2
.35 x .35

P= 24.44 τ : 1.31 n : 0.125

CONFORME

PISO 3
.31 x .31

P= 15.36 τ : 1.28 n : 0.097

CONFORME

PISO 4
.29 x .29

P= 6.4 τ : 1.25 n : 0.045

CONFORME

COLUMNA C3

PISO 1
.39 x .39

P= 34.71 τ : 1.24 n : 0.135

CONFORME

PISO 2
.35 x .35

P= 24.87 τ : 1.23 n : 0.119

CONFORME

PISO 3
.31 x .31

P= 15.72 τ : 1.23 n : 0.095

CONFORME

PISO 4
.29 x .29

P= 6.64 τ : 1.22 n : 0.046

CONFORME

COLUMNA C4

PISO 1
.39 x .39

P= 20.49 τ : 1.53 n : 0.098

CONFORME

PISO 2
.35 x .35

P= 14.4 τ : 1.46 n : 0.082

CONFORME

PISO 3
.31 x .31

P= 8.9 τ : 1.40 n : 0.062

CONFORME

PISO 4
.29 x .29

P= 3.61 τ : 1.34 n : 0.027

CONFORME

HOJA DE RESULTADOS Nº 3

Caso 1

Edificio de 4 pisos

Luces 4 m

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

Estructura simétrica

COLUMNA C1

PISO 1

.34 x .34

P= 58.27 τ : 1.21 n : 0.289

CONFORME

PISO 2

.32 x .32

P= 42.33 τ : 1.20 n : 0.236

CONFORME

PISO 3

.295 x .295

P= 27.14 τ : 1.20 n : 0.178

CONFORME

PISO 4

.292 x .292

P= 11.97 τ : 1.20 n : 0.080

CONFORME

COLUMNA C2

PISO 1

.34 x .34

P= 33.75 τ : 1.35 n : 0.188

CONFORME

PISO 2

.32 x .32

P= 24.34 τ : 1.31 n : 0.148

CONFORME

PISO 3

.295 x .295

P= 15.36 τ : 1.28 n : 0.107

CONFORME

PISO 4

.292 x .292

P= 6.42 τ : 1.25 n : 0.045

CONFORME

COLUMNA C3

PISO 1

.34 x .34

P= 34.35 τ : 1.24 n : 0.176

CONFORME

PISO 2

.32 x .32

P= 24.77 τ : 1.22 n : 0.141

CONFORME

PISO 3

.295 x .295

P= 15.68 τ : 1.22 n : 0.105

CONFORME

PISO 4

.292 x .292

P= 6.64 τ : 1.21 n : 0.045

CONFORME

COLUMNA C4

PISO 1

.34 x .34

P= 20 τ : 1.55 n : 0.127

CONFORME

PISO 2

.32 x .32

P= 14.31 τ : 1.46 n : 0.097

CONFORME

PISO 3

.295 x .295

P= 8.94 τ : 1.39 n : 0.068

CONFORME

PISO 4

.292 x .292

P= 3.67 τ : 1.33 n : 0.027

CONFORME

HOJA DE RESULTADOS Nº 4

Caso 1

Edificio de 4 pisos

Luces 4 m

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

Estructura simétrica

COLUMNA C1

PISO 1

.308 x .342

P= 57.6 τ : 1.21 n : 0.315

CONFORME

PISO 2

.292 x .324

P= 41.83 τ : 1.20 n : 0.252

CONFORME

PISO 3

.269 x .299

P= 26.82 τ : 1.20 n : 0.190

CONFORME

PISO 4

.266 x .296

P= 11.83 τ : 1.20 n : 0.086

CONFORME

COLUMNA C2

PISO 1

.342 x .342

P= 34 τ : 1.35 n : 0.187

CONFORME

PISO 2
.324 x .324

P= 24.54 τ : 1.31 n : 0.146

CONFORME

PISO 3
.299 x .299

P= 15.49 τ : 1.27 n : 0.105

CONFORME

PISO 4
.296 x .296

P= 6.48 τ : 1.25 n : 0.044

CONFORME

COLUMNA C3

PISO 1
.342 x .342

P= 34.48 τ : 1.24 n : 0.174

CONFORME

PISO 2
.324 x .324

P= 24.87 τ : 1.22 n : 0.138

CONFORME

PISO 3
.299 x .299

P= 15.75 τ : 1.22 n : 0.102

CONFORME

PISO 4
.296 x .296

P= 6.67 τ : 1.21 n : 0.044

CONFORME

COLUMNA C4

PISO 1
.342 x .342

P= 20.09 τ : 1.55 n : 0.127

CONFORME

PISO 2
.324 x .324

P= 14.38 τ : 1.46 n : 0.095

CONFORME

PISO 3
.299 x .299

P= 8.99 τ : 1.39 n : 0.067

CONFORME

PISO 4
.296 x .296

P= 3.69 τ : 1.33 n : 0.027

CONFORME

HOJA DE RESULTADOS Nº 5

Caso 1

Edificio de 4 pisos

Luces 4 m

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

Estructura simétrica

COLUMNA C1

PISO 1

.339 x .364

P= 58.73 τ : 1.21 n : 0.275

CONFORME

PISO 2

.323 x .272

P= 42.69 τ : 1.20 n : 0.278

CONFORME

PISO 3

.287 x .284

P= 27.39 τ : 1.20 n : 0.191

CONFORME

PISO 4

.283 x .286

P= 12.09 τ : 1.20 n : 0.085

CONFORME

COLUMNA C2

PISO 1

.382 x .339

P= 34.78 τ : 1.36 n : 0.174

CONFORME

PISO 2
.332 x .314

P= 25.07 τ : 1.31 n : 0.151

CONFORME

PISO 3
.304 x .281

P= 15.94 τ : 1.28 n : 0.114

CONFORME

PISO 4
.316 x .295

P= 6.75 τ : 1.25 n : 0.043

CONFORME

COLUMNA C3

PISO 1
.321 x .371

P= 34.16 τ : 1.24 n : 0.169

CONFORME

PISO 2
.281 x .302

P= 24.55 τ : 1.23 n : 0.169

CONFORME

PISO 3
.276 x .273

P= 15.5 τ : 1.22 n : 0.119

CONFORME

PISO 4
.221 x .301

P= 6.49 τ : 1.22 n : 0.057

CONFORME

COLUMNA C4

PISO 1
.275 x .339

P= 18.77 τ : 1.56 n : 0.149

CONFORME

PISO 2
.284 x .302

P= 13.47 τ : 1.47 n : 0.110

CONFORME

PISO 3
.27 x .27

P= 8.34 τ : 1.39 n : 0.076

CONFORME

PISO 4
.201 x .295

P= 3.34 τ : 1.33 n : 0.036

CONFORME

CAPITULO V

ESTUDIO DE LOS RESULTADOS

CAPITULO V
ESTUDIO DE LOS RESULTADOS

Se presentan al final de este capítulo los resultados para los 24 casos mencionados en el capítulo III. Comenzaremos el estudio de los resultados para las estructuras simétricas.

Coefficiente "τ"

Como se indicó, este coeficiente relaciona la carga axial máxima que soporta una columna, con la carga axial debida únicamente a cargas de gravedad. Al analizar una estructura, se presentan diversas combinaciones de cargas; en el caso de carga sísmica tenemos 4 tipos de cargas, debido a que la fuerza horizontal se aplica en las dos direcciones separadamente, y que la excentricidad accidental también se considera doblemente. Por lo tanto, para cada columna en cada piso hay 4 valores de "τ": el que presentamos es el valor mayor.

Columna	τ	
	Primer piso	Demás pisos
C1	1.21 a 1.22	1.21 a 1.23
C2	1.31 a 1.35	1.25 a 1.32
C3	1.23 a 1.26	1.21 a 1.24
C4	1.42 a 1.56	1.31 a 1.47

Coefficiente "n"

Para este coeficiente los resultados, en forma resumida, son:

Columna	n		
	Primer piso	Demás pisos	Ultimo piso
C1	0.25 a 0.30	0.17 a 0.25	0.10 a 0.15
C2	0.17 a 0.25	0.10 a 0.22	0.03 a 0.05
C3	0.15 a 0.25	0.09 a 0.21	0.05 a 0.07
C4	0.09 a 0.24	0.05 a 0.13	0.03 a 0.04

Para ordenar estos datos, en primer lugar, haremos " τ " constante para cada tipo de columna, según el siguiente cuadro:

Columna	τ
C1	1.25
C2	1.25
C3	1.25
C4	1.50

El error producido al modificar de esta manera el valor de τ se va a compensar al recalcular "n", obteniendo una simplificación del procedimiento.

En segundo lugar, recalculamos los valores de "n".

No usamos el valor obtenido en el análisis, sino aplicamos la fórmula base con los valores de " τ " del cuadro anterior. Los nuevos valores de "n" compensarán así la simplificación hecha a " τ " antes. Por ejemplo, para la columna C1, que tiene una sección de 0.339 x 0.364, soporta una carga axial de 58.73 t. $\tau = 1.21$, $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$; aplicando la fórmula base indicada en el Capítulo IV, obtenemos $n = 0.275$. Si queremos mantener $\tau = 1.25$, tendremos que trabajar con $n = 0.283$ (Valor recalculado).

Los valores recalculados para "n" según tipo de columna y demás características son:

COLUMNA 1.- Valores recalculados de "n"

Piso	$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$		
	4m	6m	8m	4m	6m	8m
1	0.30	0.31	0.32	0.26	0.30	0.31
2	0.25	0.26	0.26	0.22	0.25	0.26
3	0.22	0.26	0.25	0.18	0.23	0.25
4	0.14	0.14	0.16	0.11	0.11	0.12

COLUMNA 2.- Valores recalculados de "n"

Piso	$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$		
	4m	6m	8m	4m	6m	8m
1	0.20	0.24	0.24	0.16	0.20	0.24
2	0.14	0.17	0.22	0.12	0.14	0.17
3	0.12	0.15	0.15	0.10	0.12	0.13
4	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03

COLUMNA 3.- Valores recalculados de "n"

Piso	$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$		
	4m	6m	8m	4m	6m	8m
1	0.19	0.24	0.25	0.15	0.19	0.23
2	0.13	0.17	0.21	0.11	0.14	0.17
3	0.12	0.15	0.15	0.10	0.12	0.13
4	0.06	0.06	0.07	0.05	0.05	0.05

COLUMNA 4.- Valores recalculados de "n"

Piso	$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$		
	4m	6m	8m	4m	6m	8m
1	0.11	0.14	0.25	0.09	0.11	0.13
2	0.09	0.11	0.14	0.07	0.09	0.11
3	0.07	0.09	0.09	0.06	0.07	0.08
4	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03

Esto está deducido para una edificación de 4 pisos, pero resulta válido igualmente para la de 8 pisos.

Si se repite el análisis para las otras columnas obtenemos resultados similares, por lo que el último cuadro debe ser válido para todas las edificaciones simétricas.

Observamos que el coeficiente "n" depende no sólo del tipo de columna sino también de la luz y de $f'e$.

Para el tipo de estructura con excentricidad los resultados son:

Columna	τ	
	Primer piso	Demás pisos
C1	1.21 a 1.22	1.20 a 1.22
C2	1.31 a 1.37	1.26 a 1.33
C3	1.24 a 1.28	1.23 a 1.25
C4	1.39 a 1.48	1.30 a 1.42

Coeficiente "n"

Para este coeficiente los resultados son:

Columna	n		
	Primer piso	Demás pisos	Ultimo piso
C1	0.24 a 0.30	0.16 a 0.25	0.05 a 0.09
C2	0.15 a 0.25	0.09 a 0.22	0.03 a 0.05
C3	0.22 a 0.25	0.11 a 0.25	0.04 a 0.07
C4	0.10 a 0.20	0.06 a 0.14	0.02 a 0.03

Hacemos " τ " constante para cada tipo de columna, según el siguiente cuadro:

Columna	τ
C1	1.25
C2	1.25
C3	1.25
C4	1.50

Recalculamos " n " como se hizo para el otro tipo de estructura:

COLUMNA 1.- Valores recalculados de " n "

Piso	$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$		
	4m	6m	8m	4m	6m	8m
1	0.29	0.31	0.31	0.25	0.30	0.31
2	0.23	0.26	0.26	0.20	0.25	0.25
3	0.19	0.24	0.25	0.16	0.20	0.23
4	0.07	0.08	0.09	0.06	0.06	0.07

COLUMNA 2.- Valores recalculados de " n "

Piso	$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$		
	4m	6m	8m	4m	6m	8m
1	0.16	0.20	0.24	0.14	0.15	0.19
2	0.13	0.17	0.21	0.11	0.14	0.17
3	0.10	0.13	0.14	0.09	0.11	0.12
4	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04

COLUMNA 3.- Valores recalculados de "n"

Piso	f'c= 210 kg/cm ²			f'c= 280 kg/cm ²		
	4m	6m	8m	4m	6m	8m
1	0.25	0.25	0.25	0.21	0.25	0.25
2	0.17	0.23	0.25	0.14	0.18	0.24
3	0.13	0.16	0.19	0.11	0.13	0.15
4	0.06	0.06	0.07	0.04	0.04	0.05

COLUMNA 4.- Valores recalculados de "n"

Piso	f'c= 210 kg/cm ²			f'c= 280 kg/cm ²		
	4m	6m	8m	4m	6m	8m
1	0.12	0.15	0.21	0.11	0.12	0.14
2	0.10	0.13	0.15	0.08	0.10	0.13
3	0.08	0.09	0.10	0.07	0.08	0.09
4	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03

Observando estas tablas, el problema ahora es encontrar los valores recomendables de "n" para entrar a la fórmula:

$$b \times D = \frac{\tau \times P_e}{f'_c \times n}$$

Tales valores recomendables deberían ser independientes de variables como las luces de los tramos o la calidad del concreto. Sin embargo, los resultados (como se aprecia en las tablas anteriores) no muestran tal independencia.

Para solucionar esto hemos agregado una nueva variable a la que llamamos "k", y a la que incluimos en nuestra fórmula, la que entonces será la siguiente:

$$b \times D = \frac{\tau \times P_g}{f'_c \times n \times k}$$

Para el primer piso de la columna C1 podemos tomar para n el valor de 0.30. Este valor debemos corregirlo para compensar las diferencias ya mencionadas. Por ejemplo, los valores de "k" serían:

Luz (m)	$f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$
4	1.00	0.87
6	1.03	1.00
8	1.07	1.03

Para los pisos intermedios de la misma columna tendríamos:

Luz (m)	$f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$
4	1.00	0.82
6	1.18	1.05
8	1.14	1.14

Para el último piso de esta columnas tendríamos:

Luz (m)	$f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$
4	1.00	0.79
6	1.00	0.79
8	1.14	0.86

Para el primer piso de la columna C2 podemos tomar para n el valor de 0.20. Para corregirlo, los valores de "k" serían:

Luz (m)	$f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$
4	1.00	0.80
6	1.20	1.00
8	1.20	1.20

Para los pisos intermedios de la misma columna tendríamos:

Luz (m)	$f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$
4	0.92	0.77
6	1.15	0.92
8	1.15	1.00

Para el último piso de esta columnas tendríamos:

Luz (m)	$f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$
4	1.00	0.75
6	1.00	0.75
8	1.25	0.75

Considerando la totalidad de los casos, y teniendo en cuenta la necesidad de presentar cifras simples y fáciles de manejar, podemos establecer las siguientes cifras como promedios prácticos:

Luz (m)	$f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$	$f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$
4	1.00	0.80
6	1.10	1.00
8	1.20	1.10

La forma de uso se indicará en el siguiente capítulo

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se proponen coeficientes para el predimensionamiento de columnas de concreto armado. Para ello se ha trabajado con diferentes variantes de un mismo edificio. La estructura se ha presentado en 2 formas: tipo simétrico y con excentricidad. La fórmula ha quedado de la siguiente manera:

$$b \times D = \frac{\tau \times P_E}{f'_c \times n \times k}$$

donde

b y D: dimensiones de la sección de la columna

τ , n, k: coeficientes que se presentan en tablas a continuación

P_E : fuerza axial que soporta la columna debida a las cargas de gravedad.

f'_c : resistencia del concreto

Coeficiente " τ "

Para todos los tipos de edificios usamos la siguiente tabla:

Columna	" τ "
C1	1.25
C2	1.25
C3	1.25
C4	1.50

Coeficientes "n"			
		Edificios tipo "F" (simétricos)	Edificios tipo "G" (con excentricidad)
Columna	Piso	"n"	
C1	Primeros	0.30	0.30
	Intermedios	0.22	0.21
	Ultimo	0.14	0.07
C2	Primeros	0.20	0.16
	Intermedios	0.13	0.12
	Ultimo	0.04	0.04
C3	Primeros	0.19	0.25
	Intermedios	0.12	0.15
	Ultimo	0.06	0.06
C4	Primeros	0.11	0.12
	Intermedio	0.08	0.09
	Ultimo	0.04	0.03

Coeficientes "k" (todos los tipos)		
Luz (m)	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	$f'c=280 \text{ kg/cm}^2$
4	1.0	0.8
6	1.2	1.0
8	1.4	1.1

PROCEDIMIENTO PROPUESTO

Para predimensionar una columna se requiere conocer:

- a) Ubicación de la columna en el edificio.
- b) La carga de gravedad que va a soportar.
- c) El tipo de estructura (simétrica o no)
- d) Definir $f'c$
- e) Las luces del edificio.

En primer lugar se define a qué tipo de columna corresponde (C1 a C4). Se compara luego las luces del edificio con las luces que se usan en la tablas anteriores, eligiendo la más aproximada. Luego se obtiene de las tablas los coeficientes τ , n y k . Con estos datos se entra a la fórmula

$$b \times D = \frac{\tau \times P_g}{f'_c \times n \times k}$$

En lo que respecta a la relación entre "b" y "D", se puede usar una columna cuadrada, o si se prefiere, una sección rectangular, pero la diferencia entre ambas dimensiones debe ser la menor posible (la relación de mayor a menor que da áreas mínimas de columnas está entre 1 y 1.15). En todo caso, la mayor de las dos dimensiones debe ser paralela a los pórticos principales en el caso de la estructura simétrica, y si hay excentricidad, debe usarse la columna rectangular de modo tal que contrarreste dicho efecto.

BIBLIOGRAFIA

Yamashiro, Ricardo: Ponencia al 1er. Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Lima, 1969.

Merino Correa, José David: Diferentes aspectos sobre el diseño de columnas en edificios de concreto armado en regiones sísmicas. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería Lima. 1970.

Zegarra Aliaga, Edison: Dimensiones preliminares de las columnas de concreto armado. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, 1969.

Morales Morales, Roberto: Apuntes de clase, cursos de Concreto Armado e Ingeniería Antisísmica.

Maeireizo Maemori, Miguel: Estructura de concreto armado antisísmico: Diseño a la rotura. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, 1962.

Gálvez Villacorta, Adolfo Guillermo: Criterios sísmicos de dimensionamiento. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, 1977.

García Moreno, Fidel H.: Estructuración y análisis de Edificaciones considerando solicitaciones sísmicas. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería.

Reglamento Nacional de Construcciones

- Norma E.020 CARGAS
- Norma Básica de Diseño Sismo-resistente
- Norma Técnica de Edificación E-060 CONCRETO ARMADO.