

CAPÍTULO 6

DESCRIPCIÓN DE LA ESENCIA DEL PAQUETE DE CÁLCULO

6.1 Secuela de cálculo para el dimensionamiento de columnas de concreto reforzado.

Con base en los criterios de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento del Distrito Federal (NTCDF), para el dimensionamiento de columnas flexocomprimidas se recurre al uso de diagramas de interacción adimensionales que, para ese efecto, se encuentran contenidos en dicho reglamento.

Es evidente que en el empleo de dichos diagramas de interacción, la exactitud de la solución correspondiente al dimensionamiento de columnas flexocomprimidas está fuertemente supeditada al grado de precisión que se tenga de la lectura en ellos de los valores necesarios. En aras de automatizar el procedimiento de diseño, la esencia principal de este paquete de cálculo radica precisamente en la construcción de dichos diagramas de interacción a partir de los contenidos en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento del Distrito Federal.

A continuación se describe la forma en la que el programa internamente obtiene dichos diagramas de interacción.

6.2 Descripción de la determinación de los diagramas de interacción adimensionales mediante el paquete de cálculo.

Debido a que los valores máximo y mínimo del parámetro adimensional K, definido por:

$$K = (P_u / F_r * b * h * f'c) \quad (6.1)$$

es, para un determinado valor del índice de refuerzo q , independiente de la relación entre el peralte efectivo con el peralte total de la sección, d/h , se obtiene una familia de diagramas cuyas gráficas varían en función de dicha relación mencionada. Si, por ejemplo, para $q = 2.0$ se trazan los diagramas para una sección con acero distribuido uniformemente en su contorno y con un esfuerzo de fluencia $f_y \leq 4200 \text{ kg/cm}^2$, se obtiene la familia de diagramas de interacción para valores de d/h desde 0.80 hasta 0.95, incrementados en 0.05 como se indica en la figura (6.1).

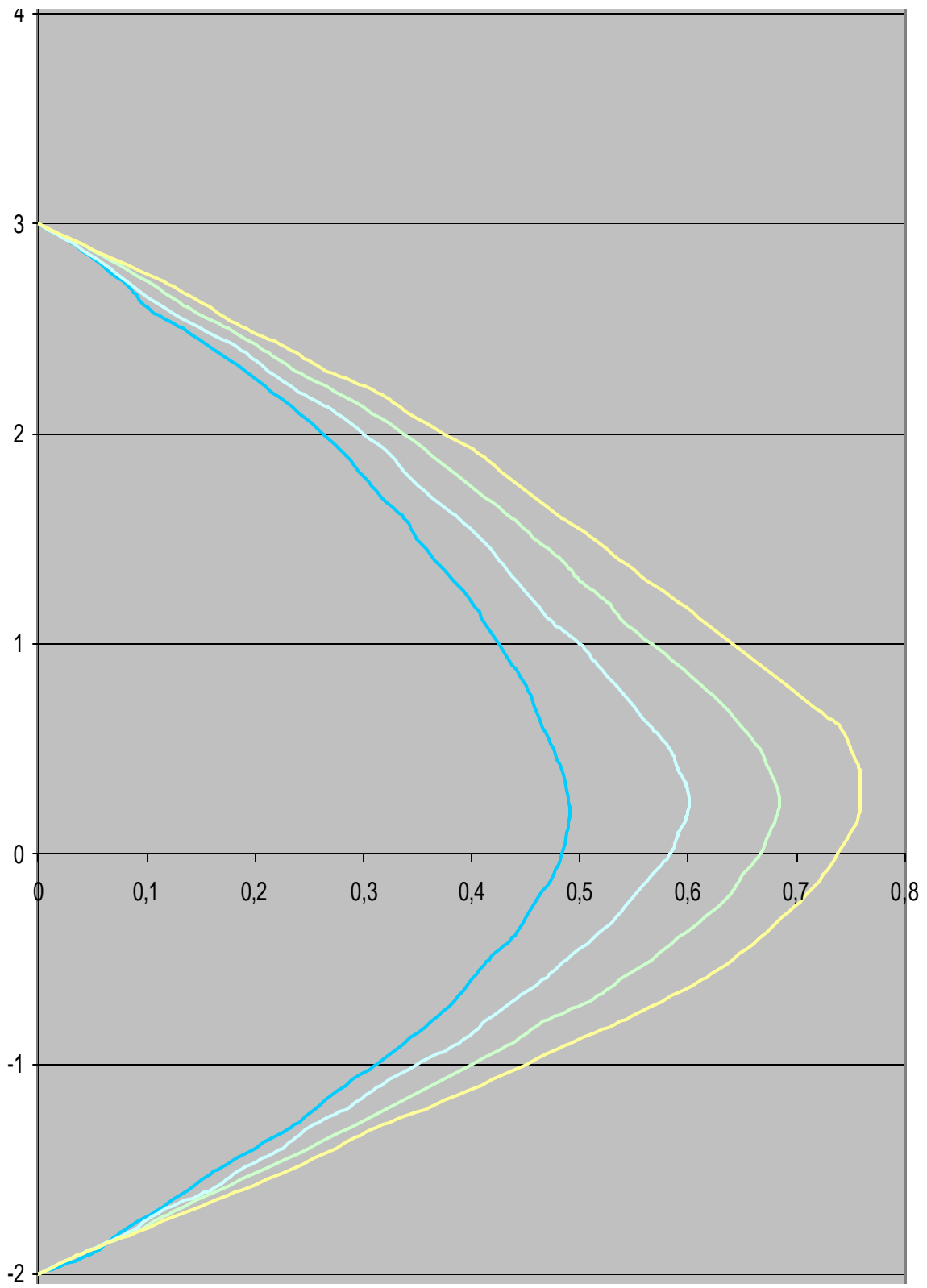


Figura 6.1 diagramas de interacción

La obtención de estos diagramas en intervalos de 0.01, se realiza, en un primer paso dentro del paquete de cálculo, mediante la definición de las coordenadas de las lecturas de todos los puntos correspondientes a cada una de las cuatro curvas de la figura (6.1). Estas lecturas se hicieron directamente sobre ampliaciones de casi el doble de los diagramas de las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal.

Como ejemplo de la forma en la que se obtuvieron los puntos de los diagramas de interacción a partir de los valores arrojados por la lectura de la ampliación de dichos diagramas, es, para el caso cuando $K = 0.5$. Con valores, para incrementos constantes de 0.01 para el parámetro R, se obtienen cantidades que corresponden a cinco intervalos, con lo cual, dentro del paquete de cálculo se obtiene, de manera muy aproximada, el diagrama de interacción para relaciones de d/h incrementados en 0.01. Para este caso, los valores son los siguientes:

Acero en todo el contorno de la sección	$K = 0.5$	d/h	R
$q = 0.2$		0.80	0,158
$f_y \leq 4200 \text{ kg/cm}^2$		0.81	0,1589
		0.82	0,1598
		0.83	0,1607
		0.84	0,1616
		0.85	0,1625

Procediendo de igual forma, se discretizaron los diagramas de interacción para valores de q desde 0.2 hasta 2 para $f_y \leq 4200 \text{ kg/cm}^2$, y desde 0.2 hasta 3 para $f_y > 4200 \text{ kg/cm}^2$, obteniéndose así diagramas de interacción para relaciones de d/h

desde 0.80 a 0.95 en ambos casos, con incrementos entre sí de una centésima.
(Ver figura (6.2))

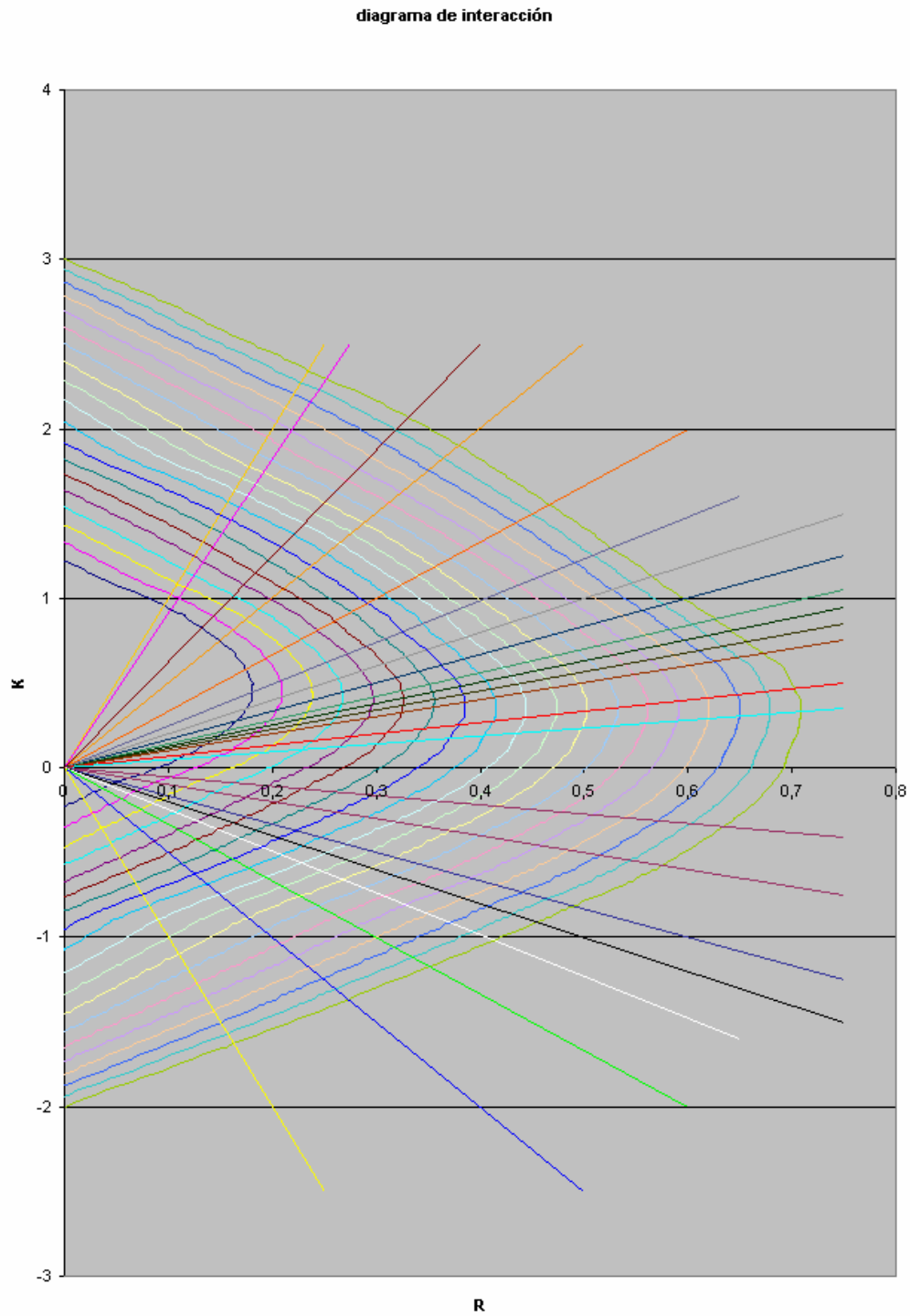


Figura 6.2 Diagramas de interacción para una relación de $d/h = 0.90$

6.3 Proceso de dimensionamiento de columnas rectangulares de concreto reforzado realizado flexocomprimidas unidireccionalmente.

Los datos con los que se cuenta para el dimensionamiento de columnas rectangulares de concreto reforzado flexocomprimidas unidireccionalmente son:

La resistencia nominal a la compresión del concreto (f'_c).

El esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo longitudinal (f_y).

Las dimensiones de la sección transversal de la columna (X, Y) según los ejes x e y.

El valor del recubrimiento total (r).

Las acciones en condiciones de servicio (carga axial P, y momento flector M).

El factor de carga por acciones gravitacionales (F_c).

El factor de carga por sismo (F_c sismo).

Con base en estos datos, el dimensionamiento se reduce generalmente a sólo la obtención del índice de refuerzo q, del cual puede determinarse el valor del porcentaje p para, así, calcular el área de acero de refuerzo longitudinal necesario.

La manera en la que el programa internamente obtiene el valor del índice de refuerzo q, consiste en el cálculo de los parámetros adimensionales R y K, definidos por las ecuaciones:

$$K = (P_u / F_r * b * h * f'_c) \quad (6.1)$$

$$R = (M_u / F_r * b * h^2 * f'_c) \quad (6.2)$$

Después, conociendo la relación de d/h , el paquete selecciona la correspondiente familia de diagramas de interacción para esa relación, dentro de la cual busca, con el valor de K , el que corresponde al índice de refuerzo q que, a su vez, sea el que corresponda al valor de R . De esta suerte, queda determinada de manera muy aproximada el valor de q que satisface la solución del problema.

El valor de recubrimiento total (r) se obtiene de la siguiente manera:

$$r = r_1 + \phi_E + \frac{1}{2} \phi_L \quad (6.7)$$

donde:

r = recubrimiento total

r_1 = recubrimiento libre

ϕ_E = diámetro de los estribos

ϕ_L = diámetro del acero de refuerzo longitudinal

6.4 Proceso de dimensionamiento de columnas rectangulares de concreto reforzado flexocomprimidas bidireccionalmente.

Los datos con los que se cuenta para el dimensionamiento de columnas rectangulares de concreto reforzado flexocomprimidas bidireccionalmente son:

La resistencia nominal a la compresión del concreto (f'_c).

El esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo longitudinal (f_y).

Las dimensiones de la sección transversal de la columna (X, Y) según los ejes x e y.

El valor del recubrimiento total (r).

Las acciones en condiciones de servicio (carga axial P, y momento flector en dirección de los ejes X e Y, M_x y M_y , respectivamente).

El factor de carga por acciones gravitacionales (F_c).

El factor de carga por sismo (F_c sismo).

Para este caso, el programa utiliza la fórmula de Bresler (ecuación 4.3). El programa de cálculo obtiene la relación de d/h para cada dirección, x e y. Conociendo dicha relación, selecciona la correspondiente familia de diagramas de interacción para ella y, posteriormente, calcula el valor de la relación e/h para, después, obtener la pendiente de la recta característica de dicha relación e/h .

El programa elige inicialmente un índice de refuerzo q, el que es intersectado con el valor de la relación e/h calculada, obtiene los valores para K_x y K_y , con los que obtiene, mediante la fórmula de Bresler, el valor de P_r . Si P_r es menor que P_u , incrementa el valor de q, mientras que si es mayor, lo decrementa hasta que P_r

sea muy aproximadamente igual a P_u , momento en el que se detiene este proceso iterativo. Con el valor de q así encontrado, el programa determina el porcentaje de refuerzo p y el área de acero de refuerzo longitudinal requerida (A_s).

6.5 Proceso de dimensionamiento de columnas de concreto reforzado flexocomprimidas uni y bidireccionalmente para columnas circulares.

Los datos con los que se cuenta para el dimensionamiento de columnas de concreto reforzado flexocomprimidas bidireccionalmente son:

La resistencia nominal a la compresión del concreto (f'_c)

El esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo longitudinal (f_y)

El diámetro de la sección de la columna (D)

El valor del recubrimiento total (r)

Las acciones en condiciones de servicio (Carga axial P , y Momento flector en dirección de los ejes X y Y M_x y M_y respectivamente)

El factor de carga por acciones gravitacionales (F_c).

El factor de carga por sismo (F_c sismo)

Inicialmente, como en el círculo cualquier eje diametral es un eje de simetría, se obtiene el momento resultante de $M = (M_x^2 + M_y^2)^{1/2}$ y, de allí, la excentricidad e dada por: $e = M_u/P_u$. De esta suerte, la columna circular estará sujeta a flexocompresión uniaxial.

Con base en estos datos, el dimensionamiento se reduce a la obtención del índice de refuerzo q , del cual puede determinarse el valor del porcentaje p para, así, calcular el área de acero de refuerzo longitudinal necesario.

La manera en la que el programa internamente obtiene el valor del índice de refuerzo consiste en el cálculo del parámetro adimensional K , definido por la siguiente ecuación:

$$K = (P_u / F_r * D^2 * f'_c) \quad (6.3)$$

Después, conociendo la relación de d/D , donde $d = D - 2r$, selecciona la correspondiente familia de diagramas de interacción para esa relación, dentro de la cual busca el valor de q resultante de la intersección de K con la relación e/D , donde e es la excentricidad correspondiente. De esta suerte, queda determinado de manera muy aproximada el valor de q que satisface la solución del problema.

6.6 Obtención mediante el programa de cálculo de la longitud efectiva de pandeo (kL) de la columna.

6.6.1 Columnas indesplazables

En lugar del nomograma que permite obtener el factor de longitud efectiva k para este tipo de columnas, el programa toma el menor de los valores que resultan de las expresiones siguientes:

$$k = 0.7 + 0.05 (\varphi_A + \varphi_B) \leq 1.0 \quad (6.4)$$

$$k = 0.85 + 0.05 \varphi_{\min} \leq 1.0 \quad (6.5)$$

donde:

φ_A y φ_B son los valores de φ en los dos extremos de la columna y φ_{\min} es el menor de ambos valores. φ es la relación de la rigidez de todos los miembros que convergen en un extremo de la columna, esto es:

$$\varphi = (\sum EI / l_u \text{ columnas}) / (\sum EI / l_h \text{ vigas}) \quad (6.6)$$

en la que l_u es la longitud no soportada de la columna; l_h e el claro libre de las vigas.

6.6.2 Columnas desplazables

En este caso se procede de manera similar al anterior donde el factor de longitud efectiva k se calcula con las siguientes expresiones:

Para miembros en compresión con ambos extremos restringidos:

Para $\varphi_m < 2$

$$k = ((20 - \varphi_m) * (1 + \varphi_m)^{1/2}) / 20 \quad (6.8)$$

Para $\varphi_m \geq 2$

$$k = 0.9 * (1 + \varphi_m)^{1/2} \quad (6.9)$$

en las que φ_m es el promedio de los valores de φ en los dos extremos del miembro a compresión.

Para miembros en compresión con un extremo articulado:

El factor de la longitud efectiva se tomó como:

$$k = 2.0 + 0.3 \varphi \quad (6.10)$$

en la que φ es el valor del extremo restringido.

6.7 Proceso de dimensionamiento de columnas de concreto reforzado esbeltas.

Para el diseño de este tipo de columnas, el programa de cálculo verifica si inicialmente deben o no considerarse los efectos de esbeltez, es decir, si la columna es corta o esbelta.

Para ello obtiene el valor del factor de la longitud efectiva (k); el producto de este factor con la altura libre de la columna (H) da la longitud efectiva de pandeo (H'), la que, a su vez, dividida por el radio de giro (r), debe de ser menor a 22 para que puedan despreciarse los efectos de esbeltez en columnas desplazables. Si la columna es indesplazable, dicha relación debe ser menor que $34 - 12 (M_1/M_2)$.

Este programa utiliza el análisis simplificado toda vez que la relación de H'/r sea menor que 100. El análisis simplificado consiste en obtener un factor de amplificación para columnas desplazables, definido por la siguiente manera:

$$F_a = 1 / (1 - (P_u / P_c)) \quad (6.11)$$

donde:

F_a = factor de amplificación

P_u = es la carga axial última

P_c = es la carga crítica de pandeo según Euler

la que a su vez equivale a

$$P_c = (F_R * \pi^2 * EI) / H^2 \quad (6.12)$$

donde:

$$EI = 0.4 * (E_c * I_g / (1 + u)) \quad (6.13)$$

siendo:

E_c = módulo de elasticidad del concreto

I_g = momento de inercia centroidal de la sección bruta de concreto

u = relación entre el máximo momento de diseño por carga muerta al máximo momento de diseño total.