

29132



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO DE COLUMNAS DE CONCRETO REFORZADAS POR MEDIO DE PROGRAMAS DE COMPUTADORAS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
RAFAEL MARIA DEL PASO MORON

MEXICO, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1989



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

1 Introducción

- 1.1 La computadora como herramienta
- 1.2 Columnas de concreto reforzado

2 Objetivos

3 Fundamentos para el calculo

- 3.1 De las columnas
- 3.2 Del Concreto
- 3.3 Del Acero
- 3.4 Los diagramas de interacción
- 3.5 Factores de longitud efectiva

4 Desarrollo de los programas

- 4.1 Diagramas de interacción
- 4.2 Factores de longitud efectiva

5 Programas en lenguaje basic

- 5.1 Diagrama de interacción
- 5.2 Factores de longitud efectiva

6 Ejemplos

- 6.1 Columna cuadrada
- 6.2 Columna cuadrada aligerada
- 6.3 Columna rectangular
- 6.4 Columna circular
- 6.5 Columna en "T"
- 6.6 Columna triangular
- 6.7 Columna Compuesta

7 Conclusiones

1 INTRODUCCION

1.1 La computadora como herramienta

La computadora desde sus inicios una de sus principales aplicaciones fue la Ingeniería. Las primeras aplicaciones fueron la resolución de operaciones matemáticas muy sencillas, lo cual abrió un nuevo horizonte para la Ingeniería, uno de los limitantes era el lenguaje muy complicado de los procesadores de las computadoras, por lo que se ideó una manera de traducir instrucciones matemáticas comunes a dicho lenguaje, por lo que nacieron lenguajes como el FORTRAM cuyo nombre se refiere a la traducción de formulas. Con estos lenguajes se facilitó mucho las operaciones matemáticas simples, de manera que se empezaron a generar una serie de procedimientos de resolución de diversas teorías para resolver cálculos más complejos que una operación matemática o a simulaciones de procesos cuya resolución era muy compleja o tediosa.

En la década actual el progreso de las computadoras no solo las ha hecho más veloces y de mayor capacidad, sino que también más accesibles al Ingeniero, lo cual hace posible a los programas la facilidad de comunicar y normalizar procedimientos de uso diario para el Ingeniero, lo que repercute en un ahorro sustancial de trabajo y una alta confiabilidad en los resultados.

1.2 Columnas de concreto reforzado

Las columnas son miembros estructurales sujetos principalmente a carga axial, siendo también de importancia los momentos que proceden de la carga directa o de rotaciones en sus extremos.

En las columnas de concreto reforzado es muy importante el cálculo de los esfuerzos del concreto y del

acero. Por medio de experimentos se encontró que los esfuerzos en el acero en la realidad son mayores a los que se calculan si se considera a los materiales totalmente elásticos, debido principalmente al flujo plástico del concreto bajo carga, también se encontró que la falla o lo que se pudiera denominar como punto de fluencia de la columna, no se presenta como en la vigas en las cuales fluye primero el acero o el concreto, sino que en las columnas la fluencia de los dos es casi simultanea, ya que si al incrementar la carga el acero alcanzara primero su limite elástico las deformaciones incrementan los esfuerzos del concreto a su resistencia última, o si por el contrario el concreto alcanzara su resistencia última antes que el acero llege a su limite elástico tendría tal deformaciones que obliga al acero a aumentar rápidamente su esfuerzo. También se determino que lo que se puede denominar como punto de fluencia se alcanza con un esfuerzo del 85% del determinado en una probeta estandar mas la resistencia en el punto de fluencia del acero.

La deflexiones en las columnas pueden ser muy importantes y aumentan al incrementarse su longitud, por lo que se han dividido las columnas en dos, las columnas cortas y las largas, definiendose como columna corta aquella cuyas deflexiones laterales no son importantes y se pueden despreciar y lo contrario para las largas.

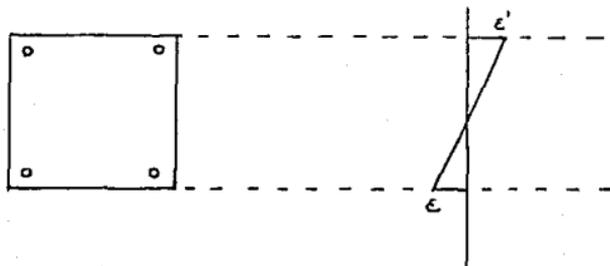
2 OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es mostrar procedimiento de calculo que nos permitan ayudas para el diseño de columnas de concreto reforzadas sujetas a flexocompresión biaxial, para lo cual se presentan los diagramas de interacción para cualquier columna cuya sección transversal este formada por círculos, triángulos rectángulos y/o rectángulos, y los diagramas de longitud efectiva de columnas, ademas de el programa en basic para aplicaciones practicas de este trabajo.

3 Fundamentos para el calculo

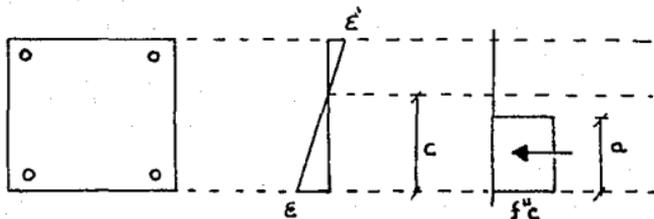
3.1 De las columnas

El calculo del diagrama de interacción de la columna se determina en base a la resistencia de su sección transversal, de manera que se consideran deformaciones planas a lo largo de la sección de la columna como se muestra en la figura.



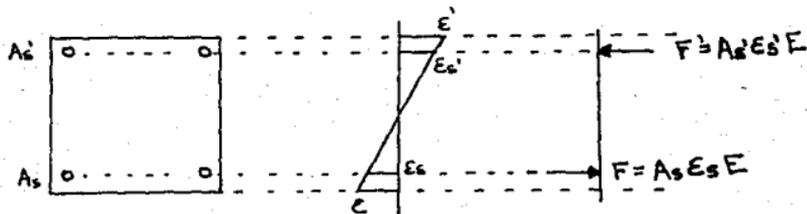
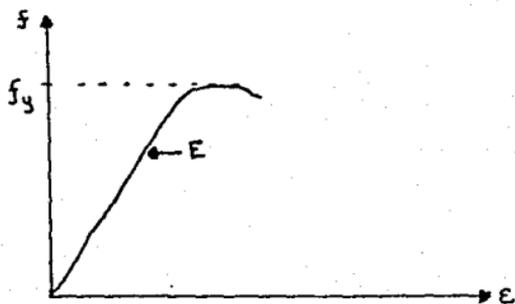
3.2 Del Concreto

Para el calculo de la fuerza a compresión resistente del concreto consideramos un bloque de esfuerzos de profundidad a por el espesor por el esfuerzo f_c^u , la resistencia a tensión se desprecia.



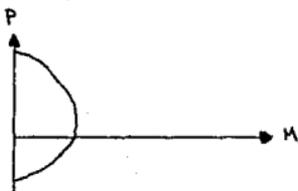
3.3 Del Acero

El acero a compresión y a tensión se considera en base a su modulo de elasticidad teniendo como limite el esfuerzo de fluencia. Como se muestra en los diagramas.

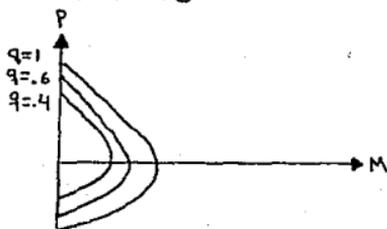


3.4 De los diagramas de interacción

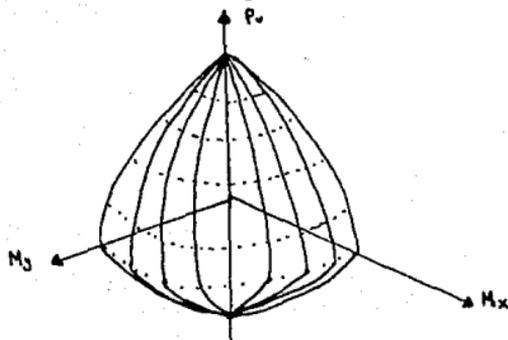
Los diagramas de interacción para las columnas son las representaciones gráficas de la relación de la carga axial y del momento máximo resistente de una columna.



Para el concreto reforzado se pueden también representar con diferentes proporciones de refuerzo, usualmente se representa por diferentes cuantías de acero, según se muestra en el diagrama.



Estos diagramas también pueden ser utilizados en tercera dimensión de manera que la representación típica en tercera dimensión es la siguiente :



3.5 Factores de longitud efectiva

Para determinar los factores de longitud efectiva necesitamos de métodos numéricos iterativos ya que las formulas para ellos son muy complejas, dichas formulas presentan problemas por manejar un rango de valores muy corto y tener elementos con pendientes muy grandes, para evitar problemas de resultados erróneos causados por manejar operaciones con valores muy grandes o pequeños que nos puedan crear incertidumbres, separamos las formulas de la siguiente manera :

para marcos no contraventeados

$$\left(\varphi_A \cdot \varphi_B \cdot \frac{\pi^2}{K^2} - 36 \right) / \left(6 \cdot (\varphi_A + \varphi_B) \right) - \pi / \left(K \cdot \tan\left(\frac{\pi}{K}\right) \right) = 0$$

para marcos contraventeados

$$\begin{aligned} & \varphi_A \cdot \varphi_B \cdot \frac{\pi^2}{K^2} \cdot \frac{1}{4} \\ & + (\varphi_A + \varphi_B) \cdot \frac{1}{2} \left(1 - \pi / \left(K \cdot \tan\left(\frac{\pi}{K}\right) \right) \right) \\ & + 2 \frac{K}{\pi} \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2K}\right) \cdot \\ & + (-1) = 0 \end{aligned}$$

4 Desarrollo de los programas

4.1 Diagramas de interacción

Para determinar los diagramas de interacción necesitaremos un método para el cálculo de las diversas geometrías de la sección de la columna, de los bloques de esfuerzo del concreto y de las deformaciones a lo largo de la sección.

Como convención consideraremos las siguientes figuras geométricas para formar la sección de la columna

Círculo el cual puede ser positivo o negativo, para permitir secciones huecas.

Rectángulos

Triángulo rectángulo

Estos últimos los consideraremos en cuatro tipos, dependiendo de la posición del ángulo recto conforme a sus vértices.

Las coordenadas para considerar la sección deberán estar en el cuadrante de las X, Y positivas.

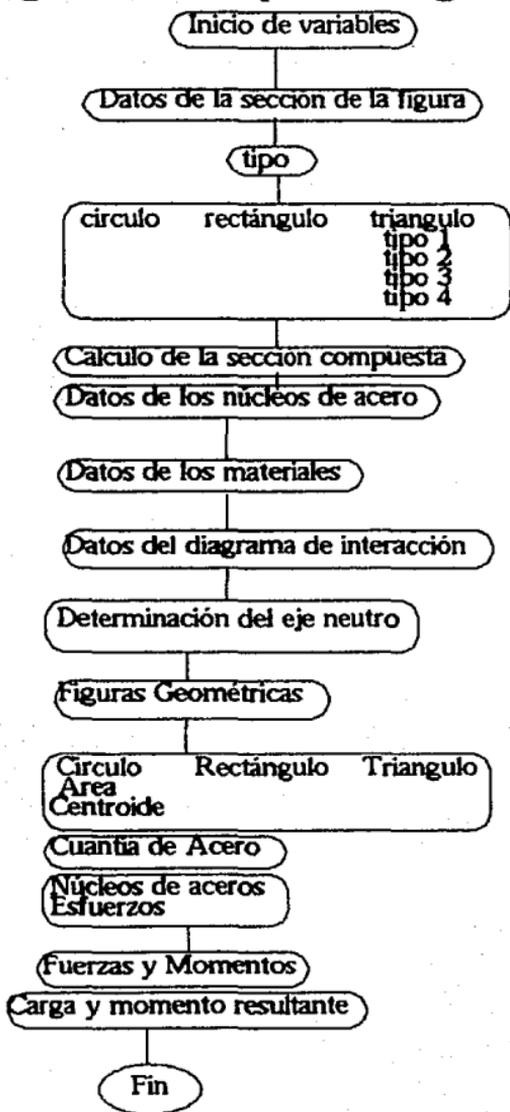
El extremo de la sección con ordenada al origen menor se considera a compresión, de manera que el eje neutro siempre será superior.

El eje neutro se representará con una línea, con pendiente variable para cada diagrama.

En el caso de los triángulos o rectángulos, sus lados que convergen en un ángulo recto deberán ser paralelos a los ejes X o Y.

Cada núcleo de acero deberá tener un porcentaje del área total del acero, y se representará en un punto determinado.

Diagrama de Bloque del Programa

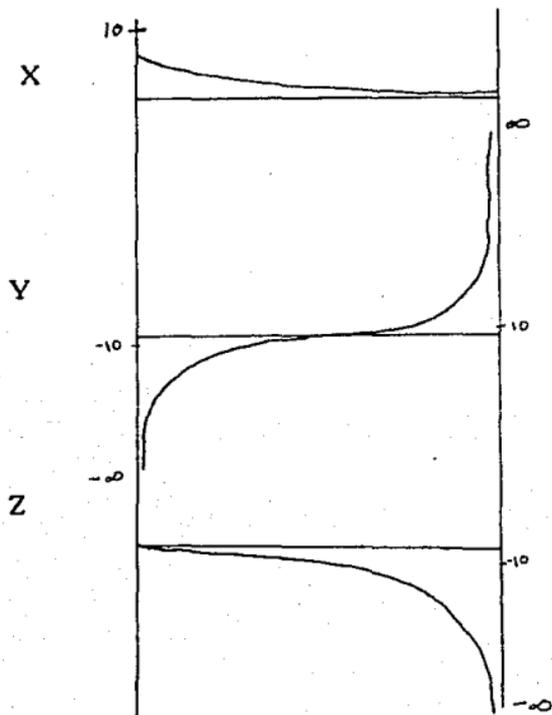


4.2 Factores de longitud efectiva

Para los valores de longitud efectiva utilizaremos un método numérico de iteraciones con factores de corrección con valor independiente al resultado de la iteración, utilizaremos para el valor un factor del resultado de la iteración y los valores límites, de manera que no nos salgamos del campo de los valores permisibles para cada una de las formulas.

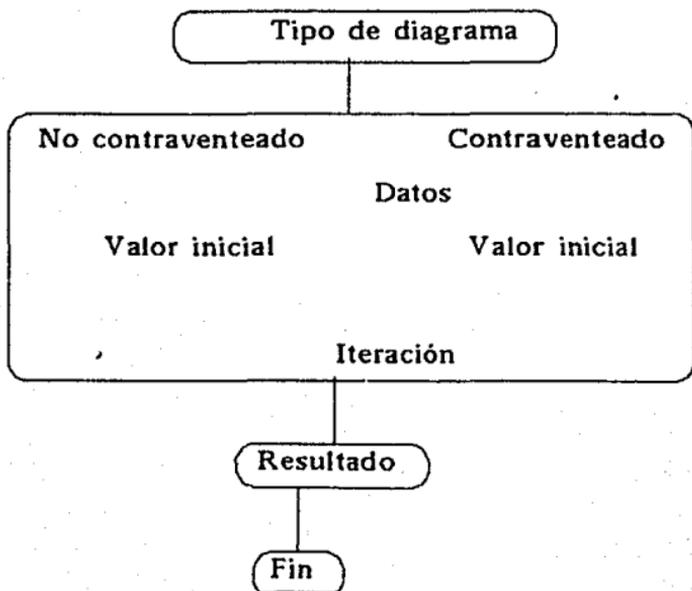
Para estudiar el método numérico separaremos los elementos de las formulas para estudiar su comportamiento y los graficaremos.

Al graficarlos encontramos que las fórmulas tienen tres tipos de comportamientos :



Las gráficas Y y Z nos muestran como cerca de los límites tienen un comportamiento muy difícil por su alta pendiente, esto nos obliga a tener métodos de corrección con valores totalmente independientes a la diferencia de la aplicación del valor de la iteración anterior con la siguiente. Pero si podemos determinar que el resultado de la iteración nos guía con su signo si la corrección a aplicar es en un sentido u otro. También nos obliga a tener una mantisa muy grande para podernos acercar a los valores límites. El número de las cifras significativas serán las que nos permitan lograr valores cerca de los límites.

Diagrama de bloques



5 Programas en lenguaje basic

5.1 Diagrama de Interacción

Inicio de variables

```
10 DIM  
CX#(100),CY#(100),A#(100),T%(100),MX#(100),MY#(  
100),NX#(100),NY#(100),IX#(100),IY#(100),AA#(10  
0),AX#(100),AY#(100),FY#(100)  
20 OO#=1^-95:EE#=1^95:FC#=1:PI#=3.141592653517#
```

Datos de la sección de la figura

```
100 REM DATOS DE LA GEOMETRIA DE LA SECCION  
104 INPUT "# de figuras";L1  
110 FOR M=1 TO L1
```

Tipo

```
120 INPUT "tipo 1 circulo 2 rectángulo 3  
triángulo ";T%(M)  
130 ON T%(M) GOTO 200,300,400
```

Círculo

```
200 REM círculo
204 INPUT " Centro x, z=";CX#(M),CY#(M)
208 INPUT " Radio=";L2#
212 A#(M)=L2#^2*PI#
214 INPUT "pon S si el area es negativa";A1#
218 IF A1#="S" THEN A#(M)=-A#(M)
222 MX#(M)=CX#(M)+L2#
226 MY#(M)=CY#(M)+L2#
230 NY#(M)=CY#(M)-L2#
234 NX#(M)=CX#(M)-L2#
238 IX#(M)=L2#^4/4#
242 IY#(M)=IX#(M)
246 GOTO 490
```

Rectángulo

```
300 REM RECTANGULO
304 INPUT " LADO SUPERIOR EN X";L2#
306 INPUT " LADO INFERIOR EN X";L3#
312 INPUT " LADO SUPERIOR EN Y";L4#
316 INPUT " LADO INFERIOR EN Y";L5#
320 A#(M)=(L2#-L3#)*(L4#-L5#)
324 CX#(M)=L2#+(L3#-L2#)/2#
328 CY#(M)=L5#+(L4#-L5#)/2#
332 IX#(M)=(L2#-L3#)*(L4#-L5#)^3/12
336 IY#(M)=(L4#-L5#)*(L2#-L3#)^3/12
340 MX#(M)=L2#
344 MY#(M)=L4#
348 NX#(M)=L3#
352 NY#(M)=L5#
360 GOTO 490
```

Triángulo

```

400 REM TRIANGULO
404 INPUT " ANGULO RECTO X=";L2#
406 INPUT " ANGULO RECTO Y=";L3#
412 PRINT "VERTICE X=";L2#;" Y=";:INPUT L4#
416 PRINT "VERTICE Y=";L3#;" X=";:INPUT L5#
420 A#(M)=ABS((L2#-L5#)*(L3#-L4#)/2)
424 CX#(M)=L2#+(L5#-L2#)/3#
428 CY#(M)=L3#+(L4#-L3#)/3#
432 MX#(M)=L2#:IF L2#<L5# THEN TX#(M)=TX#(M)+1
436 MY#(M)=L3#:IF L3#<L4# THEN TX#(M)=TX#(M)+2
440 NX#(M)=L5#
444 NY#(M)=L4#
446 IX#(M)=(ABS(MX#(M)-NX#(M)))*ABS((MY#(M)-
NY#(M)))^3/36
450 IY#(M)=(ABS(MY#(M)-NY#(M)))*ABS((MX#(M)-
NX#(M)))^3/36
490 NEXT M

```

Cálculo de la sección compuesta

```

500 REM CALCULO GEOMETRIA DE LA SECCION
504 L2#=0#:L3#=L2#:AT#=L2#
510 FOR M=1 TO L1
514 AT#=AT#+A#(M)
518 L2#=L2#+A#(M)*CX#(M)
522 L3#=L3#+A#(M)*CY#(M)
526 NEXT M
530
CX#=L2#/AT#:CY#=L3#/AT#:NY#=MY#(1):NX#=MX#(1)
540 FOR M=1 TO L1
544 IX#=IX#+IX#(M)+A#(M)*ABS((CY#(M)-CY#)^2)
548 IY#=IY#+IY#(M)+A#(M)*ABS((CX#(M)-CX#)^2)
552 IF MX#(M)>MX# THEN MX=MX#(M)
556 IF MY#(M)>MY# THEN MY=MY#(M)
560 IF NY#(M)<NY# THEN NY=NY#(M)

```

```
564 IF NX#(M)<NX# THEN NX=NX#(M)
566 NEXT M
```

Datos de los núcleos de acero

```
600 REM DATOS DE LOS NUCLEOS DE ACERO
604 L7=0#:AC=L7
608 INPUT " NUMERO DE NUCLEOS DE ACERO";L7
612 FOR M=1 TO L7
614 INPUT "X=";AX#(M)
616 INPUT "Y=";AY#(M)
620 INPUT " % DEL AREA TOTAL DE ACERO";AA#(M)
624 AC#=AC#+AA#(M)
626 NEXT M
```

Datos de lo materiales

```
700 REM DATOS SOBRE LOS MATERIALES
702 INPUT "Ec=";EC#:IF EC#=0 THEN EC#=.003#
704 INPUT "Ey=";EY#:IF EY#=0 THEN EY#=.002#
706 INPUT "Ps=";PS#:IF PS#=0 THEN PS#=.002#
710 INPUT "desde q=";Q1
720 INPUT "hasta q=";Q2
730 Q1=Q1*10;Q2=Q2*10
```

Datos del diagrama de interacción

```

800 REM DATOS DEL DIAGRAMA
802 INPUT "PENDIENTE DEL DIAGRAMA (de -1 a
99999)";PM#
803 IF PM#<-1 THEN CLS:END
804 BP#=PM#*XC#-YC#:B1#=BP#:B2#=BP#
810 FOR M=1 TO L1
812 IF T%(M)=1 THEN GOSUB 5000
814 IF T%(M)=2 THEN GOSUB 5100
816 IF T%(M)<7 AND T%(M)>2 THEN GOSUB 5200
818 IF BM#>B1# THEN B1#=BM#
820 IF BN#<B2# THEN B2#=BN#
824 NEXT M
828 DB#=B1#-B2#:B6#=B1#:B7#=B2#:B8#=B1#
830 FOR M=1 TO L7
832 FY%(M)=1/PS#
834 B1#=-PM#*AX%(M)+AY%(M)
836 IF B8#>B1# THEN B8#=B1#
840 NEXT M

```

Determinación del eje neutro

```

842 CB#=CY#-PM#*CX#
844 READ IC#
848 AP#=O#:MP#=AP#
850 IF IC#>100 THEN 4900
852 BB#=IC#*DB#+B7#
854 B5#=.8*IC#*DB#+B7#
856 BE#=B6#-B8#

```

Figuras Geométricas

```

900 FOR M=1 TO L1

```

904 ON T*(M) GOTO 1000,1100,1200
,1220,1240,1260

Círculo

```
1000 REM círculo
1002 GOSUB 5300
1004 X6#=CX#(M):Y6#=CY#(M):GOSUB 5000
1006 IF BM#<=B5# THEN 1290
1008 IF BN#>=B5# THEN 1300
1010 T#=(B5#-BC#)*COS(ATN(-PM#)):IF T#<0 THEN
T#=R#+T# ELSE T#=R#-T#
1014 F3#=0:IF B5#>BC# THEN F3#=1
1016 X6#=CX#(M):Y6#=CY#(M):GOSUB 5400
1018 G#=ATN(T#/SQR(R**R#-T**T#))
1020 A8#=R**R#*(G#-SIN(G#)*COS(G#))*-SGN (F3#-
.5):IF A8#=0 THEN Y8#=0 :GOTO 1024
1022
Y8#=R**3*2*(SIN(G#))^3/ABS(A8#)/3:Y8#*=Y8#*SGN(F
3#-.5)+D#
1024 A9#=R**R#*PI**F3#
1026 Y9#=D#
1028 MP#*=MP#-(A9**Y9#+A8**Y8#)*FC**SGN(A#(M))
1030 AP#*=AP#+(A8#+A9#) *FC**SGN(A#(M))
1032 GOTO 1300
```

Rectángulo

1100 REM RECTANGULO

```

1102 GOSUB 5100
1107 IF BM#<=B5# THEN 1290
1108 IF BN#>=B5# THEN 1300
1110 X1# = NX#(M) : Y1# = PM# * X1# + B5# : IF Y1# <= MY#(M)
AND Y1# >= NY#(M) THEN 1116
1112 Y1# = NY#(M)
1113 Y1# = NY#(M) : X1# = (Y1# - B5#) / PM# : IF
X1# <= MX#(M) AND X1# >= NX#(M) THEN 1116
1114 Y1# = MY#(M) : X1# = (Y1# - B5#) / PM# : IF
X1# <= MX#(M) AND X1# >= NX#(M) THEN 1116
1115 STOP
1116 X2# = MX#(M)
1118 Y2# = PM# * X2# + B5# : IF Y2# <= MY#(M) AND
Y2# >= NY#(M) THEN 1123
1120 Y2# = MY#(M) : X2# = (Y2# - B5#) / PM# : IF
X2# <= MX#(M) AND X2# >= NX#(M) THEN 1123
1121 Y2# = NY#(M) : X2# = (Y2# - B5#) / PM# : IF
X2# <= MX#(M) AND X2# >= NX#(M) THEN 1123
1122 STOP
1123 IF PM# < 0 THEN 1138
1124 A1# = (Y1# - NY#(M)) * (MX#(M) - X1#)
1126 Y6# = NY#(M) + .5 * (Y1# -
NY#(M)) : X6# = CX#(M) : GOSUB 5402 : D1# = D#
1128 A2# = (MX#(M) - X2#) * (Y2# - Y1#)
1130 X6# = X2# + .5 * (MX#(M) - X2#) : Y6# = Y1# + .5 * (Y2# -
Y1#) : GOSUB 5402 : D2# = D#
1132 A3# = .5 * (X2# - X1#) * (Y2# - Y1#)
1134 X6# = X2# - (X2# - X1#) / 3 : Y6# = Y1# + (Y2# -
Y1#) / 3 : GOSUB 5402 : D3# = D#
1136 GOTO 1150
1138 A1# = (Y2# - NY#(M)) * (MX#(M) - NX#(M))
1140 Y6# = NY#(M) + .5 * (Y2# -
NY#(M)) : X6# = CX#(M) : GOSUB 5402 : D1# = D#
1142 A2# = (X1# - NX#(M)) * (Y1# - Y2#)
1144 X6# = NX#(M) + .5 * (X1# -
NX#(M)) : Y6# = Y2# + .5 * (Y1# - Y2#) : GOSUB 5402 : D2# = D#
1146 A3# = .5 * (X2# - X1#) * (Y1# - Y2#)
1148 X6# = X1# + (X2# - X1#) / 3 : Y6# = Y2# + (Y1# -
Y2#) / 3 : GOSUB 5402 : D3# = D#
1150 AP# = AP# + (A1# + A2# + A3#) * FC#
1152 MP# = MP# + (A1# * D1# + A2# * D2# + A3# * D3#) * FC#
1154 GOTO 1300

```

Triángulos

```

1200 REM triangulos
1201 GOSUB 5200:IF BM#<=B5# THEN 1290
1202 IF BN#>=BB# THEN 1300
1204 M#=- (MY#(M)-NY#(M))/(MX#(M)-
NX#(M)):B# = NY#(M) - M#*MX#(M):IF PM#<>M# THEN
X1# = - (B# - B5#)/(M# - PM#) ELSE X1# = -1
1205 Y1# = M#*X1# + B#:IF (X1#<NX#(M) OR
X1#>MX#(M)) OR (Y1#<NY#(M) OR Y1#>MY#(M)) THEN
Y1# = MY#(M):X1# = (Y1# - B5#)/PM#
1206 X2# = MX#(M):Y2# = PM#*X2# + B5#:IF Y2#<=MY#(M)
AND Y2#>=NY#(M) THEN 1209
1207 Y2# = MY#(M):IF PM#<>0 THEN X2# = (Y2# -
B5#)/PM#:IF X2#<=MX#(M) AND X2#>=NX#(M) THEN
1209
1208 STOP
1209 IF PM#<0 THEN 1214
1210 D1X# = X2# - X1#:D1Y# = Y2# -
Y1#:A1# = D1X#*D1Y#/2:D1X# = X2# -
D1X#/3:D1Y# = Y1# + D1Y#/3
1211 D2X# = MX#(M) - X2#:D2Y# = MY#(M) -
Y1#:A2# = D2X#*D2Y#:D2X# = X2# + D2X#/2:D2Y# = Y1# + D2Y#
/2
1212 D3X# = MX#(M) - X1#:D3Y# = Y1# -
NY#(M):A3# = D3X#*D3Y#/2:D3X# = MX#(M) -
D3X#/3:D3Y# = Y1# - D3Y#/3
1213 GOTO 1219
1214 IF Y1#>=MY#(M) THEN XC# = NX#(M) ELSE
XC# = X1#
1215 IF X2#>=MX#(M) THEN YC# = NY#(M) ELSE
YC# = Y2#
1216 IF Y2#>=MY#(M) THEN
X3# = X1#:Y3# = Y1#:X1# = X2#:Y1# = Y2#:X2# = X3#:Y2# = Y3#
:XC# = NX#(M):YC# = Y2#
1217 D1X# = X2# - XC#:D1Y# = Y1# -
YC#:A1# = D1X#*D1Y#/2:D1X# = X2# - D1X#/3:D1Y# = Y1# -
D1Y#/3

```

```

1218 D2X#=X2#-X1#:D2Y#=Y1#-Y2#:A2#=-
D2X##D2Y#/2:D2X##X2#-D2X##/3:D2Y##Y1#-
D2Y##/3:A3#=0
1219 GOTO 1280
1220 GOSUB 5200
1221 IF BM#<=B5# THEN 1290
1222 IF BN#>=BB# THEN 1300
1224 M#=- (NY#(M)-MY#(M))/(NX#(M)-
MX#(M)):B#=MY#(M)-M#*NX#(M):IF PM#<>M# THEN
X1#=- (B#-B5#)/(M#-PM#) ELSE X1#=-1
1225 Y1#=M#*X1#+B#:IF X1#<MX#(M) OR X1#>NX#(M)
OR Y1#<NY#(M) OR Y1#>MY#(M) THEN
X1#=MX#(M):Y1#=PM#*X1#+B5#
1226 Y2#=MY#(M):IF PM#<>0 THEN X2#=(Y2#-
B5#)/PM#:IF X2#<=NX#(M) AND X2#>=MX#(M) THEN
1229
1227 X2#=MX#(M):Y2#=PM#*X2#+B5#:IF Y2#<=MY#(M)
AND Y2#>=NY#(M) THEN 1229
1228 STOP
1229 IF PM#>0 THEN 1234
1230 D1X#=X1#-X2#:D1Y#≤Y2#-
Y1#:A1#=D1X##D1Y#/2#:D1X##X2#+D1X##/3:D1Y##Y1#+D
1Y##/3
1231 D2X#=X2#-MX#(M):D2Y#=Y2#-
Y1#:A2#=D2X##D2Y#:D2X##X2#-
D2X##/2:D2Y##Y1#+D2Y##/2
1232 D3X#=X1#-MX#(M):D3Y#=Y1#-
NY#(M):A3#=D3X##D3Y#/2#:D3X##MX#(M)+D3X##/3:D3Y#
=Y1#-D3Y##/3
1233 GOTO 1239
1234 IF Y2#<MY#(M) THEN
X3#=X1#:Y3#=Y1#:X1#=X2#:Y1#=Y2#:X2#=X3#:Y2#=Y3#
1235 IF X1#=MX#(M) THEN YC#=NY#(M) ELSE YC#=Y1#
1236 IF Y2#=MY#(M) THEN XC#=NX#(M) ELSE XC#=X2#
1237 D1X#=XC#-X1#:D1Y#=Y2#-
YC#:A1#=D1X##D1Y#/2#:D1X##X1#+D1X##/3:D1Y##Y2#-
D1Y##/3
1238 D2X#=X2#-X1#:D2Y#=Y2#-Y1#:A2#=-
D2X##D2Y#/2:D2X##X1#+D2X##/3:D2Y##Y2#-
D2Y##/3:A3#=0
1239 GOTO 1280
1240 GOSUB 5200
1241 IF BM#<=B5# THEN 1290

```

```

1242 IF BN#>=BB# THEN 1300
1243 M#=- (MY#(M)-NY#(M))/(MX#(M)-
NX#(M)):B# = NY#(M)-M#*MX#(M):IF PM#<M# THEN
X1#=- (B#-B5#)/(M#-PM#) ELSE X1#=-1
1244 Y1#=M#*X1#+B#:IF X1#<NX#(M) OR X1#>MX#(M)
OR Y1#<MY#(M) OR Y1#>NY#(M) THEN
Y1#=MY#(M):X1#=(Y1#-B5#)/PM#
1245 X2#=MX#(M):Y2#=PM#*X2#+B5#:IF Y2#<=NY#(M)
AND Y2#>=MY#(M) THEN 1248
1246 Y2#=MY#(M):IF PM#<>0 THEN X2#=(Y2#-
B5#)/PM#:IF X2#<=MX#(M) AND X2#>=NX#(M) THEN
1248
1247 STOP
1248 IF PM#<0 THEN 1254
1249 IF Y2#=MY#(M) THEN YC#=NY#(M) ELSE YC#=Y2#
1250 IF Y2#=MY#(M) THEN XC#=X2# ELSE XC#=NX#(M)
1251 D1X#=MX#(M)-X1#:D1Y#=YC#-
Y1#:A1#=D1X#*D1Y#/2#:D1X#=X1#+D1X#/3*2:D1Y#=Y1#
+D1Y#/3
1252 D1X#=MX#(M)-X1#:D1Y#=YC#-
Y1#:A1#=D1X#*D1Y#/2#:D1X#=X1#+D1X#/3*2:D1Y#=Y1#
+D1Y#/3
1253 D2X#=MX#(M)-X1#:D2Y#=Y1#-
MY#(M):A2#=D2X#*D2Y#:D2X#=X1#+D2X#/2:D2Y#=Y1#-
D2Y#/2
1254 D3X#=X1#-XC#:D3Y#=Y1#-
MY#(M):A3#=D3X#*D3Y#/2#:D3X#=X1#-
D3X#/3:D3Y#=MY#(M)+D3Y#/3
1255 GOTO 1259
1256 D1X#=X2#-X1#:D1Y#=Y1#-
Y2#:A1#=D1X#*D1Y#/2#:D1X#=X1#+D1X#/3:D1Y#=Y1#+D
1Y#/3
1257 D2X#=X2#-X1#:D2Y#=Y2#-
MY#(M):A2#=D2X#*D2Y#:D2X#=X1#+D2X#/2:D2Y#=Y2#-
D2Y#/2
1258 D3X#=X1#-NX#(M):D3Y#=Y1#-
MY#(M):A3#=D3X#*D3Y#/2#:D3X#=X1#-
D3X#/3:D3Y#=MY#(M)+D3Y#/3
1259 GOTO 1280
1260 GOSUB 5200
1261 IF BM#<=B5# THEN 1290
1262 IF BN#>=BB# THEN 1300

```

```

1263 M#=- (MY#(M)-NY#(M))/(MX#(M)-
NX#(M));B#=NY#(M)-M#*MX#(M): IF PM#<>M# THEN
X2#=- (B#-B5#)/(M#-PM#) ELSE X2#=-1
1264 Y2#=M#*X2#+B#: IF X2#>NX#(M) OR X2#<MX#(M)
OR Y2#>NY#(M) OR Y2#<MY#(M) THEN
Y2#=MY#(M):X2#=(Y2#-B5#)/PM#
1265 X1#=MX#(M):Y1#=PM#*X1#+B5#: IF Y1#>MY#(M)
AND Y1#<NY#(M) THEN 1268
1266 Y1#=MY#(M):X1#=(Y1#-B5#)/PM#: IF
X1#>MX#(M) AND X1#<NX#(M) THEN 1268
1267 STOP
1268 IF PM#>=0 THEN 1276
1269 IF X1#>X2# THEN XC#=X1# ELSE XC#=NX#(M)
1270 IF X1#=MX#(M) THEN YC#=Y1# ELSE YC#=NY#(M)
1271 D1X#=X2#-MX#(M):D1Y#=YC#-
Y2#:A1#=D1X#*D1Y#/2#:D1X#=MX#(M)+D1X#/3:D1Y#=Y2
#+D1Y#/3
1273 D2X#=X2#-MX#(M):D2Y#=Y2#-
MY#(M):A2#=D2X#*D2Y#:D2X#=X2#-D2X#/2#:D2Y#=Y2#-
D2Y#/2
1274 D3X#=XC#-X2#:D3Y#=Y2#-
MY#(M):A3#=D3X#*D3Y#/2#:D3X#=X2#+D3X#/3:D3Y#=MY
#(M)+D3Y#/3
1275 GOTO 1280
1276 D1X#=X2#-X1#:D1Y#=Y2#-
Y1#:A1#=D1X#*D1Y#/2#:D1X#=X2#-
D1X#/3:D1Y#=Y1#+D1Y#/3
1277 D2X#=X2#-MX#(M):D2Y#=Y1#-
MY#(M):A2#=D2X#*D2Y#:D2X#=X2#-D2X#/2#:D2Y#=Y1#-
D2Y#/2
1278 D3X#=NX#(M)-X2#:D3Y#=Y2#-
MY#(M):A3#=D3X#*D3Y#/2#:D3X#=X2#+D3X#/3:D3Y#=MY
#(M)+D3Y#/3
1280 AP#=AP#+(A1#+A2#+A3#)*FC#
1282 X6#=D1X#:Y6#=D1Y#:GOSUB 5402:D1#=D#
1283 X6#=D2X#:Y6#=D2Y#:GOSUB 5402:D2#=D#
1284 X6#=D3X#:Y6#=D3Y#:GOSUB 5402:D3#=D#
1288 MP#=MP#+(A1#*D1#+A2#*D2#+A3#*D3#)*FC#
1289 GOTO 1300
1290 AP#=AP#+A#(M)*FC#
1292 X6#=CX#(M):Y6#=CY#(M):GOSUB 5402
1294 MP#=MP#+A#(M)*D#*FC#
1300 NEXT M

```

Cuantía de acero

```
1320 FOR Q=Q1 TO Q2
1324 EE#=Q/PS#/EY#/10:SA#=0:SM#=0
1326 FOR M=1 TO L7
1328 BC#=AY#(M)-PM#*AX#(M)
1330 IF (BB#-B7#)=0 THEN DE#=0:GOTO 1334
1332 DE#=(BB#-BC#)/(BB#-B7#)*EC#
1334 F#=(DE#*EE#)
1338 IF ABS(F#)>FY#(M)*Q/10 THEN
F#=FY#(M)*Q*SGN(F#)/10
1340 SA#=SA#+F#*AA#(M)*AT#*PS#
1342 X6#=AX#(M):Y6#=AY#(M):GOSUB 5402
1344 SM#=SM#+AA#(M)*F#*D#*AT#*PS#
1346 NEXT M
```

Carga y momento resultante

```
1348 PRINT USING
"#####,";BB#,AP#,MP#,SA#,SM#,AP#+SA#,MP#+SM#
1350 NEXT Q
1360 GOTO 844
```

Subrutinas

```

4900 RESTORE:GOTO 800
4910 DATA 20,10,2,1.2,1.1,.95,.8,.7,.65,.625,.6
,.56,.54,.52,.50,.40,.20,.0001,1000000
5000 REM circulo
5002 BC#=CY#(M)-PM#*CX#(M)
5004 R#=(MX#(M)-NX#(M))/2#
5008 BM#=BC#+R#*SQR(1+PM#*PM#)
5010 BN#=BC#-R#*SQR(1+PM#*PM#)
5012 RETURN
5100 REM rectangulo
5102 BC#=-PM#*NX#(M)+NY#(M):BN#=-
PM#*MX#(M)+NY#(M):IF BN#>BC# THEN BN#=BC#
5104 BC#=-PM#*NX#(M)+MY#(M):BM#=-
PM#*MX#(M)+MY#(M):IF BM#<BC# THEN BM#=BC#
5106 RETURN
5200 REM triangulo
5204 BC#=-PM#*MX#(M)+MY#(M):BN#=-
PM#*MX#(M)+NY#(M):IF BN#>BC# THEN BN#=BC#
5206 BC#=-PM#*MX#(M)+MY#(M):IF BN#>BC# THEN
BN#=BC#
5208 BC#=-PM#*NX#(M)+MY#(M):IF BN#>BC# THEN
BN#=BC#
5210 BC#=-PM#*MX#(M)+MY#(M):BM#=-
PM#*MX#(M)+MY#(M):IF BM#<BC# THEN BM#=BC#
5212 BC#=-PM#*MX#(M)+NY#(M):IF BM#<BC# THEN
BM#=BC#
5214 BC#=-PM#*NX#(M)+MY#(M):IF BM#<BC# THEN
BM#=BC#
5220 RETURN
5300 REM circulo
5302 BC#=CY#(M)+PM#*CX#(M)
5304 R#=(MX#(M)-NX#(M))/2#
5306 BM#=BC#+R#
5308 BN#=BC#-R#
5310 RETURN
5400 REM Brazo al eje neutro
5402 D#=(CB#-Y6#+PM#*X6#)*COS(ATN(-PM#))
5403 CAL#=(Y6#+PM#*X6#)
5404 D#=(ABS(D#)*SGN(CB#-CAL#)
5405 RETURN

```

5.2 Factores de longitud efectiva

Tipo de diagrama

```
5 PI#=3.1415926535#  
10 INPUT "Esta contraventeado";A$  
15 cont=1  
20 IF A$="SI" THEN 200
```

No contraventeado

```
100 INPUT "Relacion EI/lc (a)=";A#  
102 INPUT "Relacion EI/lc (b)=";B#  
104 K#=(A#+B#)/3:IF K#<1 THEN K#=1.00000001#  
106 T#=1  
108 Y#=(A#*B#*(PI#/K#)^2-36)/6/(A#+B#)  
110 X#=PI#/K#/TAN(PI#/K#):R=SGN(Y#-  
X#):cont=cont+1:if cont>999 then 600  
112 K#=K#+SGN(Y#-X#)*T#:IF R<>0S THEN T#=T#/2  
114 IF K#<1 THEN K#=1+1.001*T#  
116 IF ABS(K#-R#)<1E-08 AND K#<2 THEN 400  
117 IF ABS (X#-Y#)<.000001 THEN 400  
119 OS=R:R#=K#  
120 GOTO 108
```

Contraventeado

```
200 INPUT "Relacion E1/lc (a)=";A#
202 INPUT "Relacion E1/lc (b)=";B#
204 K#=.75:T#=.2
208 Y#=(A#*B#*(PI#/K#)^2/4#)
210 X#=(A#+B#)/2#*(1#-PI#/K#/TAN(PI#/K#))
212 Z#=2#*TAN(PI#/2/K#)*K#/PI#:cont=cont+1
214 S#=X#+Y#+Z#:if cont>999 then 600
215 IF ABS(T#)<SE-10 THEN 400
216 K#=K#+SGN(S#-1)*T#:T#=T#/1.5#
217 IF K#<.5 THEN K#=.51
218 IF K#>1 THEN K#=.99
220 GOTO 208
400 PRINT"K=";K#
410 GOTO 10
600 PRINT "PROGRAMA TERMINADO POR LIMITE DE
ITERACIONMES"
```

6 EJEMPLOS

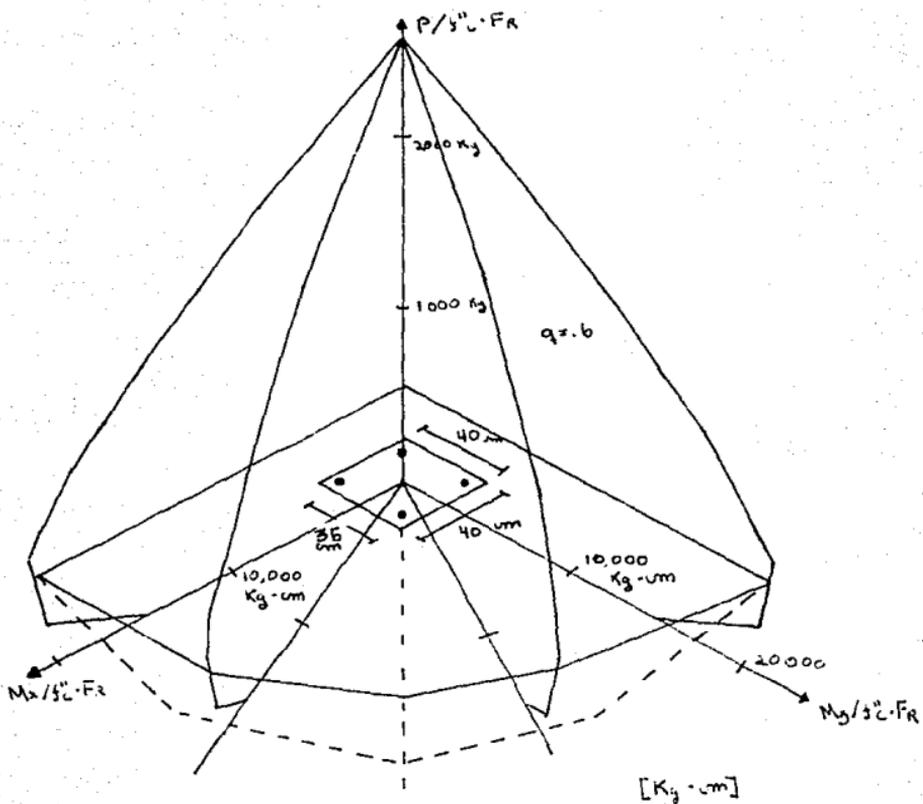
6.1 Columna cuadrada

La columna cuadrada tiene una sección muy común la cual es de 40 X 40 cm con cuatro núcleos de acero en las esquinas, notese que en el programa el resultado es en Kg-cm y que los valores de P_u y M_r se encuentran en factor del f'_c y del factor de reducción. La cantidad de acero considerada es de .6 y se considera un recubrimiento de 5 cm.

En el siguiente ejemplo se considera la misma sección, solo que con un aligeramiento central.

En la gráfica se incluye con línea punteada el valor correspondiente al que tendrían en los ejes, esto es para poder observar como disminuye la resistencia de la sección en planos intermedios al de los ejes.

También se muestra un corte en un plano paralelo al X-Y para mayor claridad del comportamiento cerca de la falla balanceada.

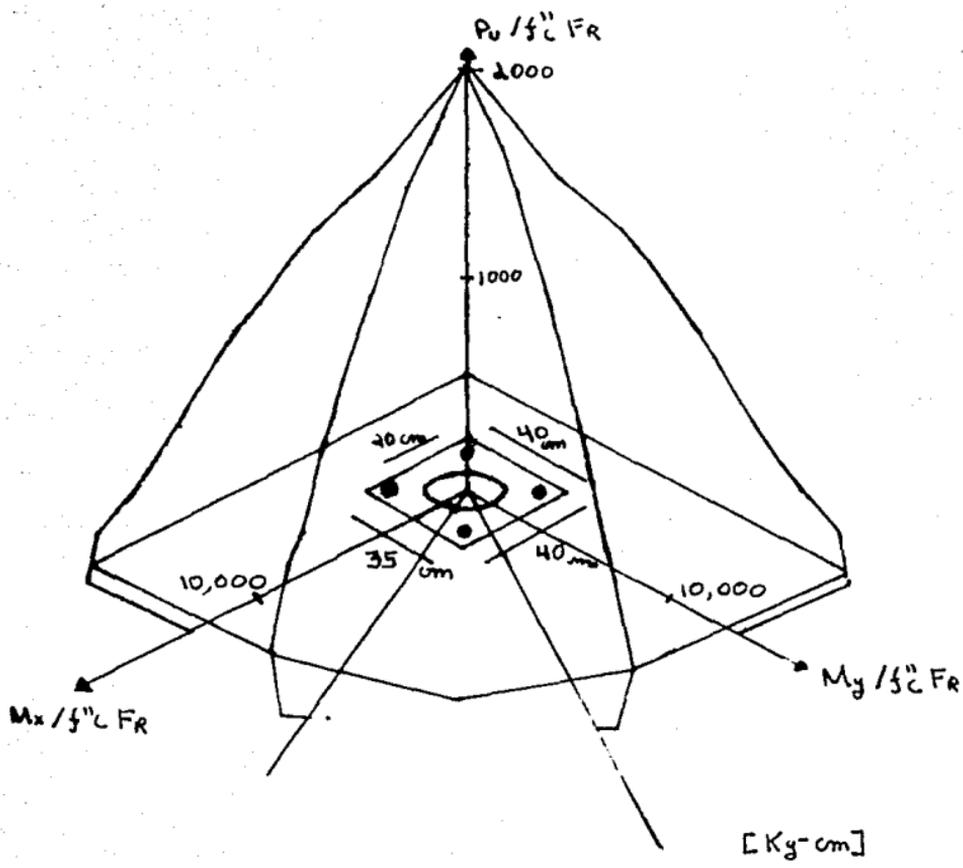


6.2 Columna cuadrada aligerada

La columna cuadrada aligerada es similar al ejemplo anterior solo que tiene un aligeramiento central circular de diámetro de 20 cm.

El aligeramiento se incluyo para observar como puede mejorar el comportamiento de una columna en comparación al ejemplo anterior, cabe aclarar que aún cuando tienen la misma sección no tienen la misma cantidad de materiales sino un 20% menos y que la reducción del momento resistente máximo es de 13%...

Se muestra un corte en un plano paralelo al X-Y para mayor claridad del comportamiento cerca de la falla balanceada.

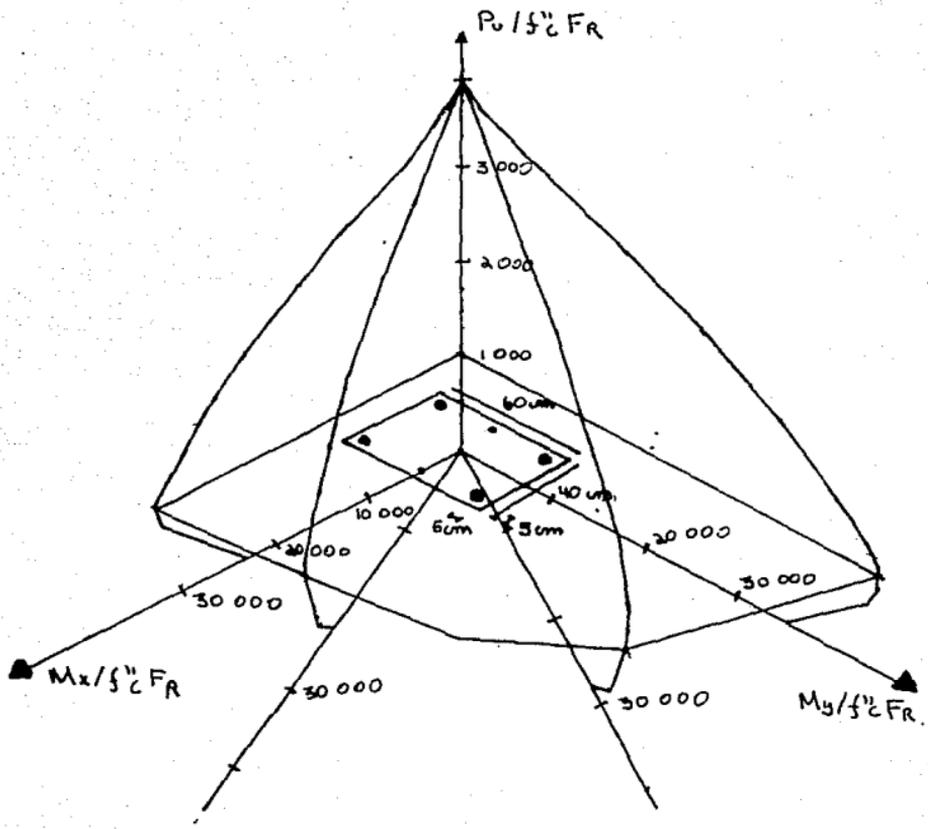


6.3 Columna rectangular

La columna rectangular tiene una sección de 40 X 60 Cm e incluye 6 nucleos de acero, se determinó que los dos nucleos intermedios tengan el 50% del area de los nucleos extremos.

Se consideró un recubrimiento del acero de 5 cm y una cuantia de .6. Las unidades se encuentran en Kg-cm y PU y Mr se encuentran en factor del f^c y del factor de reducción.

Se muestra un corte en un plano paralelo al X-Y para mayor claridad del comportamiento cerca de la falla balanceada.



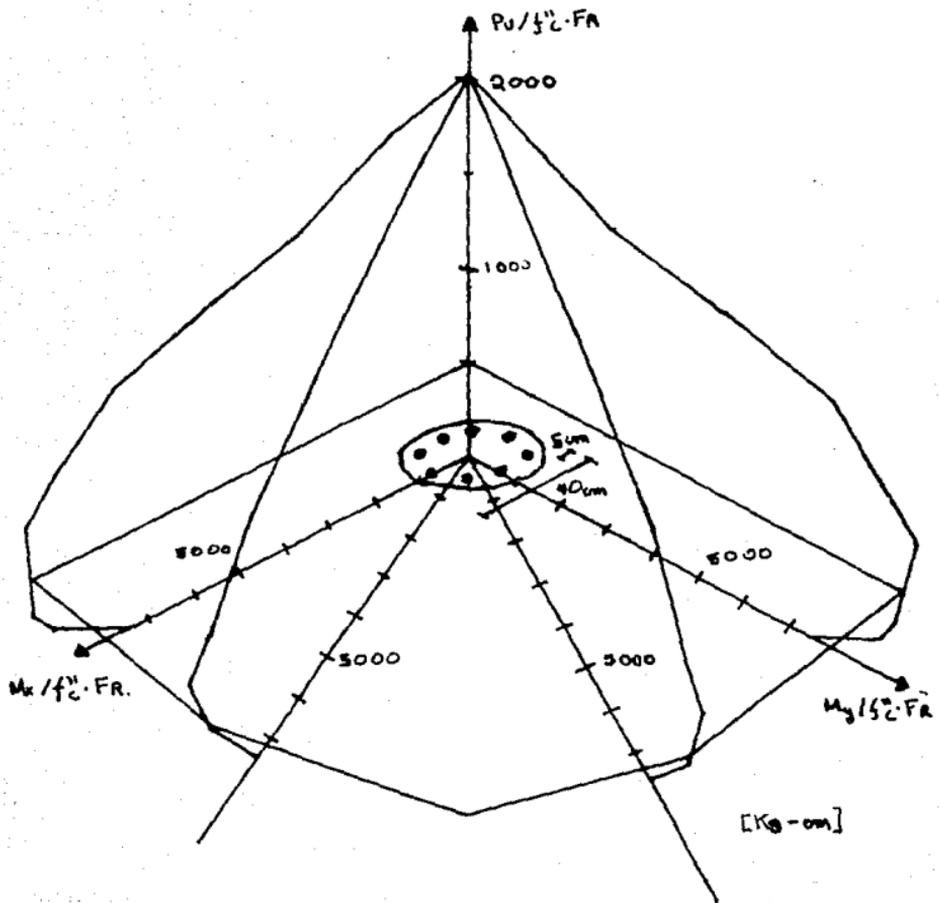
6.4 Columna circular

La columna circular tiene un diametro de 40 cm y 8 nucleos de acero.

Se consideró un recubrimiento del acero de 5 cm y una cuantía de .6. Las unidades se encuentran en Kg-cm y PU y Mr se encuentran en factor del f^c y del factor de reducción.

Se muestra un corte en un plano paralelo al X-Y para mayor claridad del comportamiento cerca de la falla balanceada.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

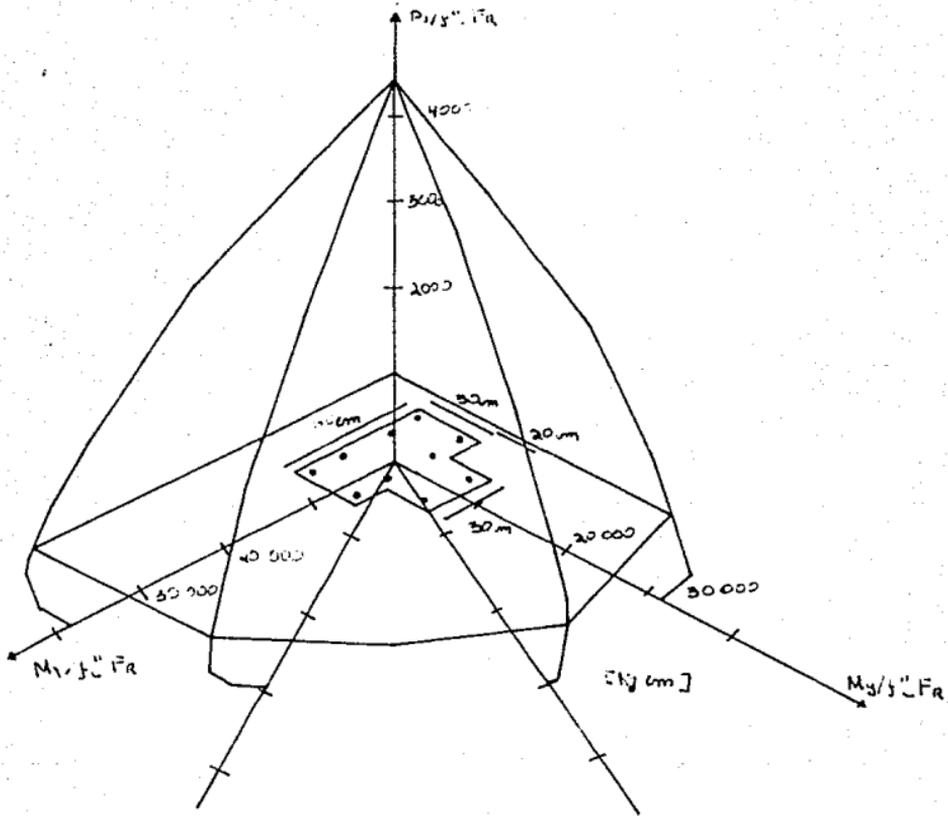


6.5 Columna en "T"

La columna en T tiene una sección de 60 X 60 con una alma de 30 cm y otra de 20 cm 10 nucleos de acero, de los cuales los cuantro interiores tienen un área del 50% de los exteriores..

Se consideró un recubrimiento del acero de 5 cm y una cuantía de .6.Las unidades se encuentran en Kg·cm y PU y Mr se encuentran en factor del f^c y del factor de reducción.

Se muestra un corte en un plano paralelo al X-Y para mayor claridad del comportamiento cerca de la falla balanceada.

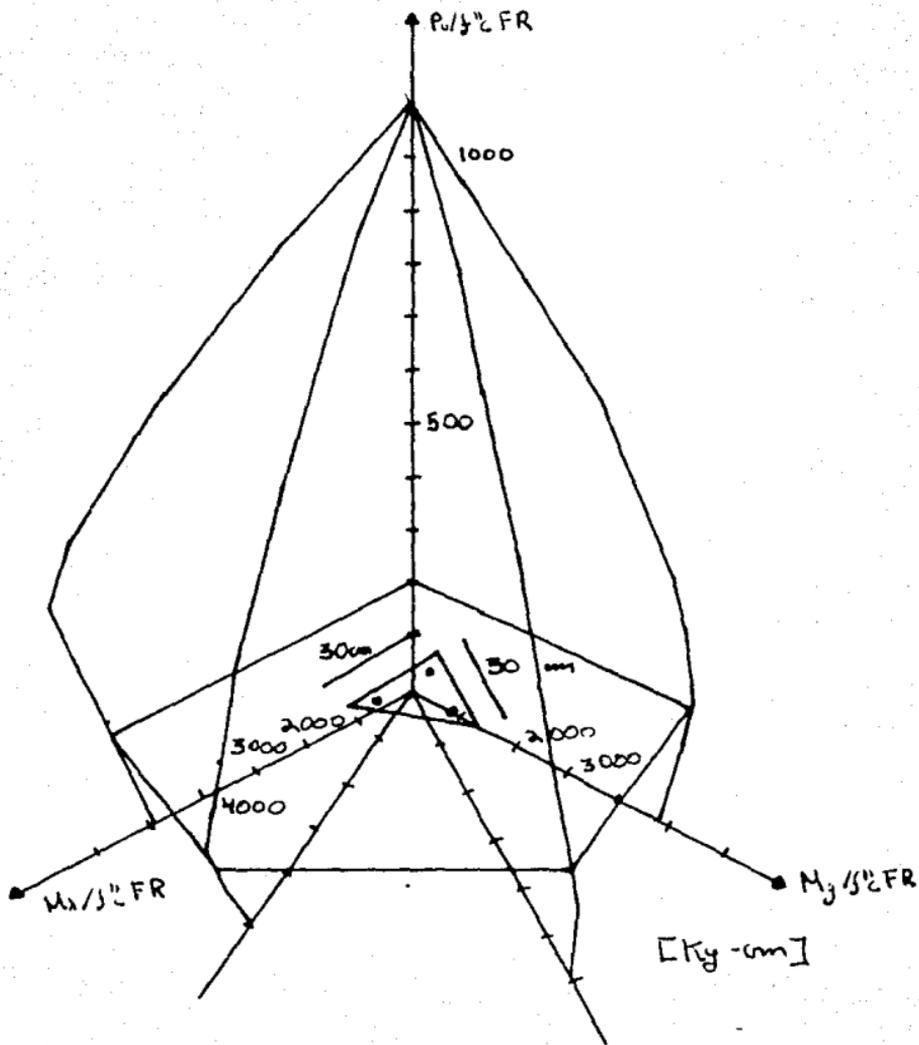


6.6 Columna triangular

La columna triangular tiene sus lados de 30 cm con tres núcleos de acero.

Se consideró un recubrimiento del acero de 5 cm y una cuantía de .6. Las unidades se encuentran en Kg-cm y PU y Mr se encuentran en factor del f^c y del factor de reducción.

Se muestra un corte en un plano paralelo al X-Y para mayor claridad del comportamiento cerca de la falla balanceada.

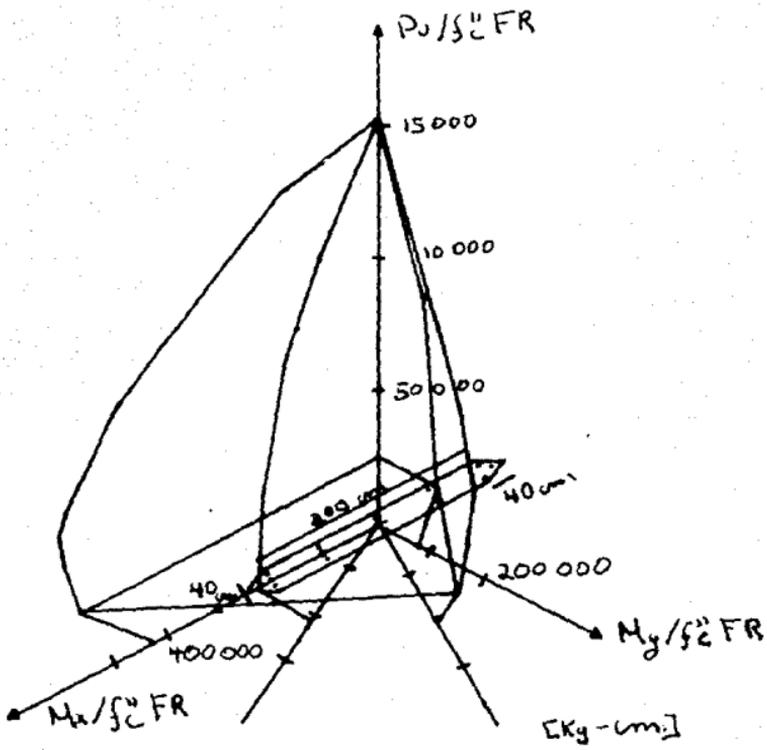


6.7 Columna compuesta

La columna compuesta se encuentra formada por un rectángulo de 40 X 200 cm y dos triángulos de base 40 cm X 40 cm de altura y cuenta doce núcleos de acero.

Se consideró un recubrimiento del acero de 5 cm y una cuantía de .6. Las unidades se encuentran en Kg/cm y PU y Mr se encuentran en factor del f^c y del factor de reducción.

Se muestra un corte en un plano paralelo al X-Y para mayor claridad del comportamiento cerca de la falla balanceada.



7 Conclusiones

De la elaboración del programa.

El principio de la elaboración consiste en el estudio de las teorías en las cuales se fundamenta el proceso, en éste estudio se requiere analizar y estructurar todos los datos necesarios y los métodos de cálculo que se utilizan en cada proceso.

Para determinar el proceso adecuado nos basamos en el proceso manual de cálculo, en caso de que éste exista, y lo analizamos observando si este proceso es aplicable en un programa y si existe alguna forma de mejorarlo, ya sea en exactitud o en menores limitaciones.

En el caso de los diagramas de interacción encontramos que para el diseño son muy importantes, pero todo un diagrama requiere muchos cálculos, y no existen para columnas especiales, además de que para flexocompresión biaxial existen métodos aproximados que en ciertos casos pueden tener una diferencia significativa conforme a un cálculo más exacto. Además de que este proceso puede ser integrado para un sistema de diseño de estructuras. El proceso de cálculo es sencillo, pero en un programa presenta el inconveniente de tratar con problemas geométricos para lo cual se necesitaron determinar procesos para que encuentren la intersección del eje neutro con cada una de las figuras que puedan formar la sección de la columna y calcular su área y su centroide correspondiente.

En el cálculo del valor del factor de longitud efectiva de la columna, no existe un proceso directo para su resolución, de manera que se determino un proceso numérico, este factor normalmente se consulta en gráficas, y aún cuando la exactitud del factor no es muy importante, (Con dos decimales es suficientemente representativo) la facilidad de tener éste proceso en un programa nos facilita automatizar ciertos sistemas de diseño en los cuales no sería posible por necesitar consultar los diagramas.

Para el diseño del método numérico es muy importante conocer el comportamiento de las ecuaciones y rango de los resultados esperados, el método iterativo puede ser aplicable aún cuando la diferencia de cada iteración no nos indique directamente la magnitud de la corrección, en éste caso solo se pudo determinar el sentido de la corrección, por lo que respecta a el factor de corrección se determinó solo por reducción del factor anterior.

De la aplicación del programa.

En base a los ejemplos anteriores tenemos las siguientes observaciones :

En la columna cuadrada se representa en línea punteada el resultado de considerar para flexocompresión biaxial la misma que en cada eje, en esta gráfica podemos observar como el resultado de dicha consideración es mayor al obtenido con el programa, esto es debido a que al calcularse como una elipse con base a los valores de las cargas y momentos resistentes en los dos ejes, lo cual representaría que los dos ejes en donde se presentan los menores momentos resistentes sean los correspondientes a los dos ejes, lo cual en todos los ejemplos no se cumple, de manera en la sección cuadrada si el eje neutro se encuentra a 45% de los ejes el momento resistente es menor, debido a que el solo se están haciendo trabajar dos núcleos de acero para el momento, también es importante notar que ésta diferencia puede ser mayor o menor según sea la geometría de la sección y los núcleos de acero.

En los ejemplos de las columnas cuadradas con o sin aligeramiento, nos muestra como el resultado de aligerar el centroide de la sección puede resultar en tener una columna muy ligera, económica al tener una mejor relación de área de la sección contra el momento resistente, además de poder utilizar la sección de aligeramiento para conducción entre diversos niveles, ya sea de agua, eléctrica etc.. Aún cuando el aligeramiento en el centroide de la sección puede ser muy productivo, hay que tener

ciertas limitaciones ya que recordando la teoría de las deformaciones planas, puede darse el caso de que una parte de la sección si es muy delgada pueda fallar antes de la resistencia última de la sección.

En la columna circular podemos notar que el momento resistente es menor en el caso de que el eje neutro no sea paralelo a los núcleos de acero y que salvo ésta diferencia el diagrama de interacción en cualquier plano es muy similar como era de esperarse .

En la columna triangular podemos observar en comparación al de la cuadrada, que tiene una relación menor de momento resistente contra la carga resistente, por lo que las cuadradas tienen mejor comportamiento para resistir momentos.

En la columna compuesta podemos observar que el momento resisten en cada eje no es proporcional a las dimensiones de la columna, y que el momento máximo resistente no se encuentra en un mismo plano (Igual carga resistente) sino que que varía dentro de un rango pequeño.

En general para el diseño de columnas de concreto encontramos lo importante que es encontrar una sección de acuerdo al comportamiento que se requiera de la columna y a la localización del acero de refuerzo. Para lograr una mejor relación de momento resistente/carga resistente las columnas deben tener una sección con el mayor momento de inercia, tratando de tener menor área en su centroide, y el refuerzo lo mas alejado del centroide, ya que el acero cercano al centroide tiene menores deformaciones que las de los extremos. Por ejemplo la columna del segundo ejemplo, en donde con un aligeramiento central se comporta mucho mejor la columna en relación a su momento resistente con respecto a su sección, aún cuando su resistencia es menor que si no tuviera el hueco circular, no lo es en la misma proporción de lo disminuye la cantidad de concreto y acero.