

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil



**“Estudio y Diseño de Columnas de
Concreto Armado en Zonas Sísmicas
Usando Programas de Computo”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

José Ramón Rodríguez Yauri

Lima - Perú - 1990

INDICE

Pag.

CAPITULO I

1.0 ESTUDIO DE LA INFORMACION EXISTENTE

1.1	GENERALIDADES	1
1.2	COLUMNAS CORTAS CARGADAS EXCENTRICAMENTE CON FLEXION UNIAXIAL	1
1.3	MEDIDAS DE SEGURIDAD.....	3
1.4	DIAGRAMA DE INTERACCION.....	3
1.5	CUANTIA.....	3

CAPITULO II

2.0 DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO EN DOS CARAS

2.1	ANALISIS DE LA INFORMACION TEORICA Y MATEMATICA EN EL DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO EN DOS CARAS.....	6
2.2	ANALISIS DE LAS ECUACIONES Y ALGORITMOS USADOS EN EL PROGRAMA DE DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO EN DOS CARAS.....	9
2.3	ELABORACION DEL PROGRAMA QUE DISEÑA LA COLUMNA CON REFUERZO SIMETRICO EN DOS CARAS..	12
2.3.1	EXPLICACION DE LA SECUENCIA A SEGUIR EN EL CALCULO DEL ACERO PARA EL DISEÑO EN EL PROGRAMA DE COMPUTO DE COLUMNAS.....	12
2.3.2	PROCESO DE ITERACION.....	13

2.4	APLICACIONES Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	15
2.4.1	EVALUACION DEL PROGRAMA.....	15
2.4.2	USANDO LAS GRAFICAS DE DISEÑO SP- 7.....	18
2.5	PROGRAMA DE COMPUTO COLUMNAS.....	20

CAPITULO III

3.0 DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO ASIMETRICO EN DOS CARAS

3.1	ANALISIS DE LA INFORMACION TEORICA Y MATE- MÁTICA EN EL DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUER- ZO ASIMETRICO EN DOS CARAS.....	25
3.1.1	GENERALIDADES.....	25
3.1.2	EVALUACION DEL DISEÑO ASIMETRICO.....	25
3.2	ANALISIS DE LAS ECUACIONES Y ALGORITMOS USADOS EN EL DISEÑO DEL PROGRAMA DE DISEÑO DE COLUMNAS RECTANGULARES CON REFUERZO ASI- METRICO EN DOS CARAS	28
3.2.1	ECUACIONES BASICAS DE DISEÑO ASIMETRICO.	28
3.2.2	DEDUCCION DEL MOMENTO MAXIMO QUE RESISTE UNA COLUMNA RECTANGULAR CON REFUERZO ASIMETRICO DADA LA CARGA AXIAL QUE ACTUA SOBRE ELLA...	31
3.3	ELABORACION DEL PROGRAMA QUE DISEÑA LA CO- LUMNA CON REFUERZO ASIMETRICO EN LAS DOS CARAS.....	33
3.3.1	PASOS A SEGUIR.....	33
3.4	APLICACIONES Y DISCUSION DE RESULTADOS....	35
3.5	PROGRAMA DE COMPUTO COLUMASI.....	41

CAPITULO IV

4.0 DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO EN LAS CUATRO CARAS

4.1	ANALISIS DE LA INFORMACION TEORICA Y MATE- MATICA EN EL DISEÑO SIMETRICO EN LAS CUATRO CARAS	48
4.2	ANALISIS DE LAS ECUACIONES Y ALGORITMOS USADOS EN EL DISEÑO DEL PROGRAMA DE DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO ASIMETRICO.....	51
4.2.1	CALCULO DEL ACERO EN LAS CARAS DE DISEÑO TENIENDO VARILLAS DE ACERO EN LAS CARAS LA- TERALES.....	51
4.2.2	CALCULO DE LOS MOMENTOS MAXIMOS RESISTENTES PARA LA CARGA PUNTUAL P_u CON LOS ACEROS FINALES ESTABLECIDOS.....	55
4.3	ELABORACION DEL PROGRAMA QUE DISEÑA LA CO- LUMNA CON REFUERZO SIMETRICO EN DOS CARAS..	55
4.4	APLICACIONES Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	60
4.4.1	SOLUCION DE UN PROBLEMA HACIENDO USO DEL PROGRAMA.....	60
4.4.2	DISEÑO EN LAS CUATRO CARAS USANDO LAS GRA- FICAS DE DIAGRAMA DE INTERACCION SP- 7....	66
4.5	PROGRAMA DE COMPUTO COLUM4C.....	70

CAPITULO V

5.0 DIAGRAMA DE INTERACCION DE COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO EN LAS CUATRO CARAS

5.1	ANALISIS DE LA INFORMACION TEORICA Y MATE- MATICA EN EL DISEÑO DEL DIAGRAMA DE INTE- RACCION PARA COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO	
-----	---	--

EN LAS CUATRO CARAS.....	83
5.1.1 INTRODUCCION.....	83
5.1.2 GENERALIDADES.....	85
5.2 ANALISIS DE LAS ECUACIONES Y ALGORITMOS USA- DOS EN LA ELABORACION DEL PROGRAMA DE DIA- GRAMA DE INTERACCION PARA COLUMNAS CON RE- FUERZO.....	85
5.2.1 DADO EL VALOR DE LA CARGA AXIAL ACTUANTE SE PUEDE CALCULAR EL MOMENTO FLECTOR QUE RESISTE LA SECCION.....	85
5.2.2 DADO EL VALOR DEL MOMENTO FLECTOR ACTUAN- TE SE CALCULARA EL VALOR CORRESPONDIENTE A LA CARGA AXIAL QUE SOPORTA LA SECCION..	86
5.3 EVALUACION DEL PROGRAMA DE DIAGRAMA DE IN- TERACCION DE COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRI- CO EN LAS CUATRO CARAS.....	89
5.4 APLICACIONES Y DISCUSION DE RESULTADOS...	90
5.5 PROGRAMA DE COMPUTO DIAINTE.....	92
ANEXOS	103
BIBLIOGRAFIA.....	109

SUMARIO

El objetivo principal de esta tesis es la elaboración de programas de computo para el diseño y verificación de la fuerza axial y momentos flectores para las columnas con refuerzo en dos caras y cuatro caras.

En la actualidad el diseño de columnas es mediante el uso de ábacos SP-7, SP-17 y otros del ACI. Con estos programas expuestos en la presente tesis se elimina el uso de estos ábacos y se hace el cálculo con las ecuaciones de compatibilidad dando la máxima aproximación al diseño y seguridad en su cálculo.

INTRODUCCION

La columna es la estructura más importante de la edificación aperticada y por lo tanto se tiene que tomar especial interés en su diseño, verificando las posibles combinaciones de esfuerzo a los cuales va estar sujeto.

Desde hace décadas se ha diseñado las columnas haciendo uso de ábacos o gráficos como los SP-7, SP-17a o posteriores del ACI. Estas ayudas para el diseño, fueron elaboradas debido a lo dificultoso que resulta el usar las complejas ecuaciones de diseño, especialmente, si se quiere hacer uso del diseño en las cuatro caras. Sin embargo pasaron los años y en la actualidad esta complejidad de usar y resolver las ecuaciones, decae bruscamente al poder uso de las computadoras, que nos ayudan en la solución de las ecuaciones de la manera más exacta posible y con la rapidez que se requiere.

El objetivo principal es desarrollar los programas de cómputo necesarios para poder hacer el diseño de columnas y la evaluación de sus esfuerzos finales con el diseño previo.

En el Capítulo I, se presenta la parte básica del estudio de la información existente y conocido por nosotros los Ingenieros Civiles ,en el curso de nuestra carrera.

En el Capítulo II, definimos las ecuaciones básicas del diseño y elaboramos el programa básico de diseño de columnas con refuerzo simétrico en dos caras.

En el Capítulo III, se analiza el diseño asimétrico a dos caras para finalmente presentar el programa de diseño de columnas con refuerzo asimétrico.

En el Capítulo IV, se analiza las ecuaciones y algoritmos para hacer el diseño de columnas simétrico con refuerzos en las cuatro caras. Finalmente se presenta el programa que diseña la columna con refuerzo en las cuatro caras, considerando la carga axial actuante y los momentos flectores en las dos direcciones de análisis. El diseño presentado es uniaxial. Finalmente el programa nos da los momentos flectores resistentes en las dos direcciones "x" e "y" cuando actúe la carga axial de diseño P_u .

En el Capítulo V se diseña el programa que hace la evaluación del Diagrama de Interacción de una columna dada las características de geometría y resistencia de la sección con las varillas y posiciones de éstas. Este programa evalúa un punto del diagrama de interacción dada cualquiera de sus dos componentes: la carga axial actuante o el momento flector. El análisis lo hace en cualquiera de las dos direcciones "x" o "y" .

Para la elaboración de los programas se ha escogido el lenguaje "Turbo Pascal 5.0" por ser uno de los lenguajes de alto nivel, ser estructurados y ser uno de los lenguajes más veloces que existen.

Espero que con la elaboración de esta obra se halla dado un punto más de avance en el perfeccionamiento del diseño de obras estructurales y sea de estímulo a otros jóvenes egresados a elaborar otros programas de cómputo en diseño y así estar a la vanguardia nuevamente de la Ingeniería Civil de nuestro país.

CAPITULO I

1.0 ESTUDIO DE LA INFORMACION EXISTENTE

1.1 GENERALIDADES

Las columnas son elementos estructurales utilizados primordialmente para soportar cargas de compresión. Una columna corta es aquella en que la carga última para una excentricidad dada está solamente gobernada por la resistencia de los materiales y las dimensiones de la sección transversal. Una columna esbelta es aquella en que la carga última también está influida por la esbeltez, lo que produce flexión adicional debido a las deformaciones transversales. En nuestro caso solo nos ocuparemos de las columnas cortas.

1.2 COLUMNAS CORTAS CARGADAS EXCENTRICAMENTE CON FLEXION UNIAXIAL

Las columnas cargadas axialmente rara vez ocurren en la práctica, debido a que siempre hay cierta flexión, como lo evidencia la torcedura inicial ligera de las columnas, la manera en que se aplican las cargas mediante vigas y losas, y los momentos introducidos por la construcción continua.

La combinación de una carga axial P_u y momento flexionante M_u equivalente a una carga P_u aplicada en la excentricidad $e = M_u/P_u$, como se muestra en la figura 1.1.

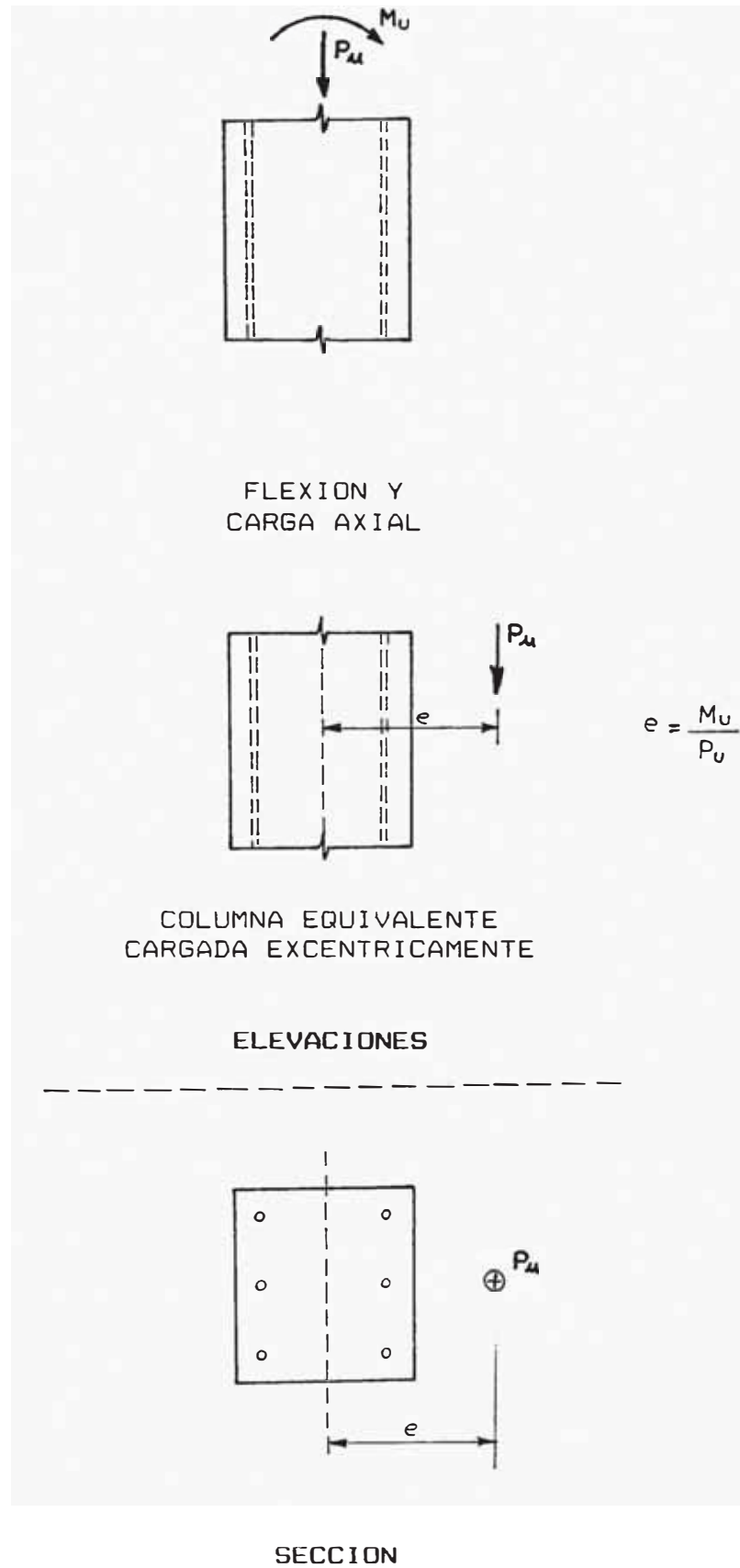


Fig. 1.1 Carga Equivalente de Columnas

1.3 MEDIDAS DE SEGURIDAD

En la práctica, desde el punto de vista de la resistencia, las columnas con estribos y zunchadas se diseñan como si el concreto no estuviera confinado, pero debido a la mayor dureza de una columna zunchada, el código ACI asigna un factor ligeramente mayor de reducción de capacidad en una columna zunchada que a una columna con estribos.

Para elementos con estribos : $\phi = 0.70$

Para elementos con zuncho helicoidal : $\phi = 0.75$

En nuestro caso solo se analiza el diseño de columnas con estribos $\phi = 0.70$ por utilizar columnas estribadas.

1.4 DIAGRAMA DE INTERACCION

La mayor forma de ilustrar las combinaciones de P_u y $P_u \cdot e$ que provocan la falla de una sección dada de columna es mediante un diagrama de interacción. La figura 1.2 es un diagrama de este tipo para una columna cargada excentricamente. Cualquier combinación de carga y excentricidad que dé un punto en **AB** provoca una falla a compresión; cualquier combinación en **BC** provoca una falla a tensión, en que la cedencia del acero de tensión precede al aplastamiento del concreto comprimido. En **B** ocurre una falla balanceada.

1.5 CUANTIA

Se requiere que todas las varillas contengan un número suficiente de varillas longitudinales para que la relación de acero

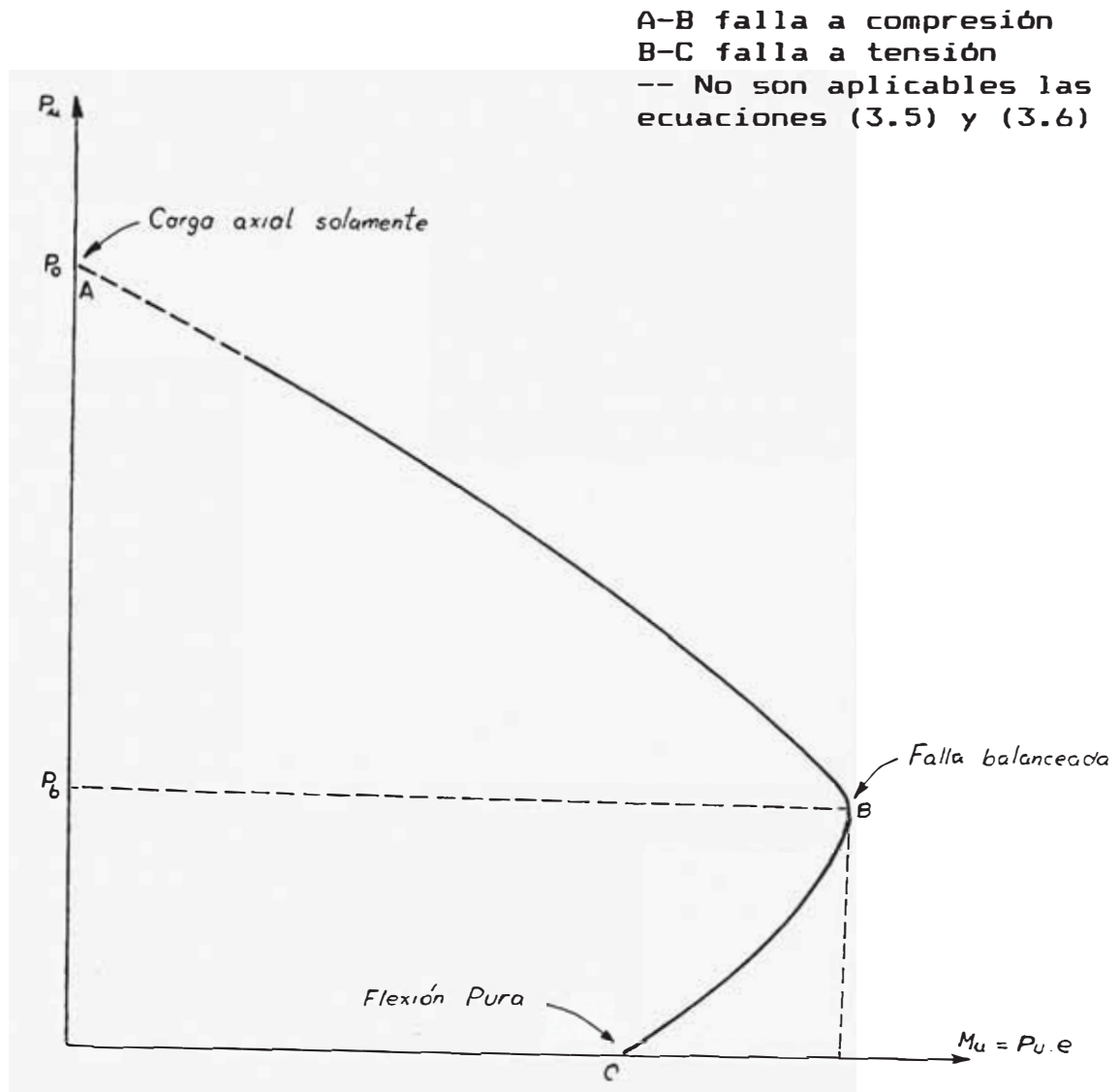


fig.1.2 Diagrama de Interacción para una sección de columna de concreto reforzado cargado excéntricamente.

$$\text{Cuantía} = \frac{A_s}{b \cdot h}$$

sea por lo menos 0.01, debido a los esfuerzos de contracción y flujo plástico en áreas pequeñas, y además no debe exceder de 0.08. Con este último valor de la cuantía, el amontonamiento de las varillas en la sección de columna es muy severo.

La Norma Peruana considera una cuantía mínima de 1% y una máxima de 6%, y especifica que si el diseñador considera una cuantía mayor al 4%, debe detallar el cruce de los refuerzos de la columna y de las vigas en cada nudo. Deben usarse, por lo menos 6 varillas para columnas con secciones circulares y cuatro para secciones rectangulares.

CAPITULO II

2.0 DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO EN DOS CARAS

2.1 ANALISIS DE LA INFORMACION TEORICA Y MATEMATICA EN EL DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO EN DOS CARAS

En la figura 2.1 se muestra una sección rectangular con refuerzo simétrico en dos caras, cargadas excéntricamente a la carga última. Se considera que la profundidad del eje neutro es menor que el peralte total. Como con las vigas, una falla a tensión o una falla a compresión puede ocurrir dependiendo de si el acero a tensión alcanza la resistencia de cedencia. Sin embargo, contrario a las vigas, no se puede evitar una falla a compresión limitando el área de acero, ya que el tipo de la falla depende del nivel de carga axial.

Notese que el centroide plástico cae en el centro de gravedad de la sección por ser de refuerzo simétrico.

La ecuación de equilibrio obtenida de la suma de las fuerzas internas es :

$$P_u = 0.85 f'_c \cdot a \cdot b + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s \dots(2.1)$$

Como $A_s = A'_s$ tendremos

$$P_u = 0.85 f'_c \cdot a \cdot b + A_s \cdot (f'_s - f_s) \dots(2.2)$$

y la ecuación que se obtiene tomando momentos respecto del acero de tensión es :

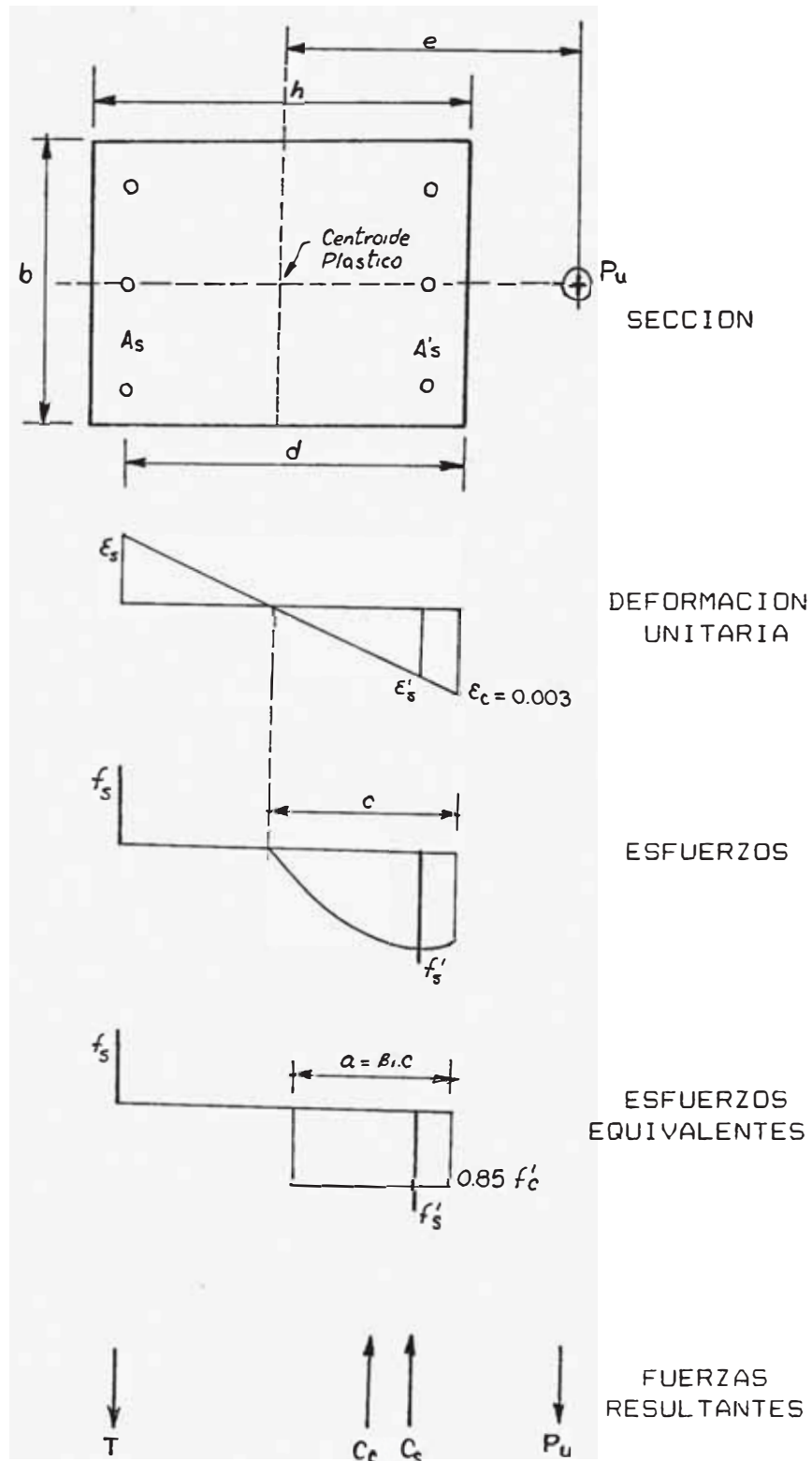


fig. 2.1 Sección de Columna Reforzada Simetricamente cargada excentricamente a la carga última

$$M_u = P_u \cdot e = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot (h/2 - a/2) + A'_s \cdot f'_s \cdot (h/2 - d') + A_s \cdot f_s \cdot (d - h/2) \quad \dots (2.3)$$

Como $A_s = A'_s$ tendremos

$$M_u = P_u \cdot e = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot (h/2 - a/2) + A_s \cdot [f'_s \cdot (h/2 - d') + f_s \cdot (d - h/2)] \quad \dots (2.4)$$

Usando los factores de reducción, las ecuaciones (2.3) y (2.4) quedarían de la siguiente forma :

$$P_u = \phi [0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s \cdot (f'_s - f_s)] \quad \dots (2.5)$$

$$M_u = P_u \cdot e = \phi [0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot (h/2 - a/2) + A_s \cdot [f'_s \cdot (h/2 - d') + f_s \cdot (d - h/2)]] \quad \dots (2.6)$$

Ocurre una "falla balanceada" cuando el acero de tensión apenas alcanza la resistencia de cedencia y la deformación de compresión de la fibra extrema del concreto alcanza 0.003 al mismo tiempo. Para una falla balanceada, de los triángulos semejantes del diagrama de deformaciones de al figura 2.1 se tiene :

$$\frac{0.003}{c_b} = \frac{f_y/E_s}{d - c_b}$$

De donde :

$$c_b = \frac{0.003 \cdot E_s}{f_y + 0.003 \cdot E_s} \cdot d \quad (2.7)$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b = \frac{0.003 \cdot E_s}{f_y + 0.003 \cdot E_s} \cdot \beta_1 \cdot d \quad (2.8)$$

Se debe notar que hay asociada una falla balanceada con un perfil de deformación definido univocamente, según la ecuación (2.8) es una propiedad de la sección.

Se puede calcular el valor de P_b (carga en la falla balanceada) reemplazando los valores de a_b (ecuación(2.8)), en vez de "a" y f_y en vez de f_s y f'_s en la ecuación (2.5).

Si $P_u < P_b$, ocurre una falla a tensión, ya que la menor carga en la columna significa que $c < c_b$ y el diagrama de deformaciones de la figura 2.2 muestra que consecuentemente $\epsilon_s > f_y/E_s$.

Si $P_u > P_b$, ocurre una falla a compresión, ya que la mayor carga en la columna significa que $c > c_b$ y el diagrama de deformaciones de la figura 2.2 muestra que consecuentemente $\epsilon_s < f_y/E_s$.

Los valores de f_s y f'_s los podemos calcular igualmente del diagrama de deformaciones (figura 2.1)

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s = \frac{0.003 \cdot d - c}{c} E_s$$

$$f_s = \frac{0.003 \cdot \beta_1 \cdot d - a}{a} E_s \quad \dots(2.9)$$

$$f'_s = \epsilon'_s \cdot E_s = \frac{0.003 \cdot c - d'}{c} E_s$$

$$f'_s = \frac{0.003 \cdot a - \beta_1 \cdot d'}{a} E_s \quad \dots(2.10)$$

2.2 ANALISIS DE LAS ECUACIONES Y ALGORITMOS USADOS EN EL PROGRAMA DE DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO EN DOS CARAS.

En la sección 2.1 dedujimos las siguientes ecuaciones:

$$P_u = \phi[0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s \cdot (f'_s - f_s)] \quad \dots(2.5)$$

$$M_u = P_u \cdot e = \phi[0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot (h/2 - a/2) + A_s \cdot [f'_s \cdot (h/2 - d') + f_s \cdot (d - h/2)]] \quad \dots(2.6)$$

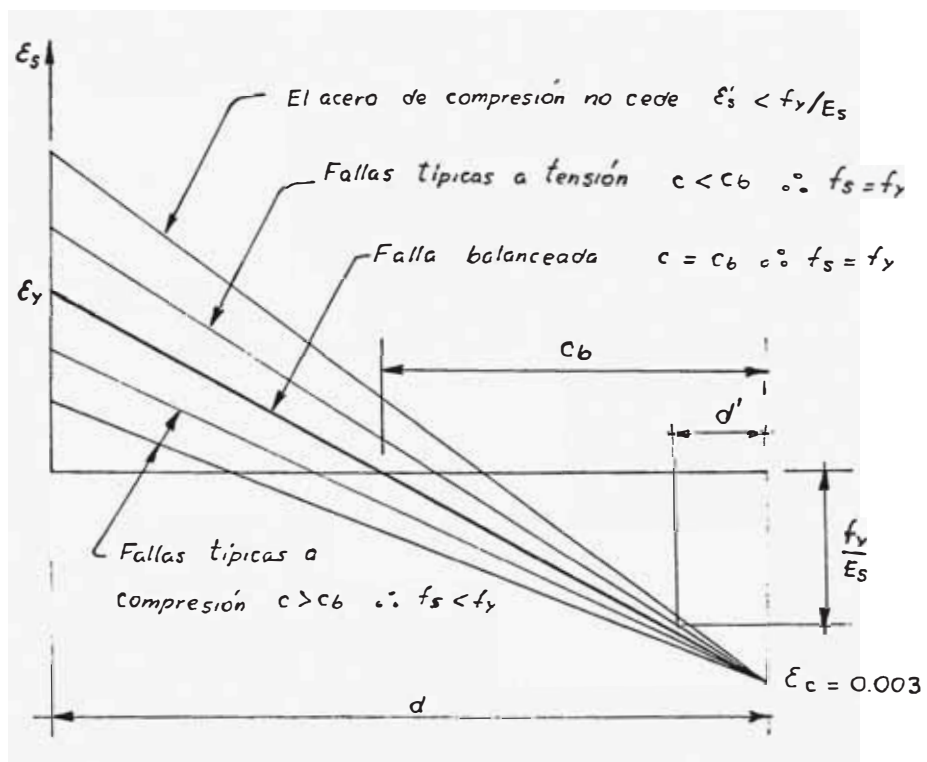


fig 2.2 Diagramas de deformaciones para fallas de columnas cargadas excentricamente

De la ecuación (2.5)

$$A_s = \frac{0.85 f'c \cdot a \cdot b - Pu/\phi}{f_s - f's} \quad \dots(2.11)$$

De la ecuación (2.6)

$$A_s = \frac{Mu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h/2 - a/2)}{f_s \cdot (d - h/2) + f's \cdot (h/2 - d')} \quad \dots(2.12)$$

pero $h = d + d'$ en (2.12)

$$A_s = \frac{Mu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h/2 - a/2)}{f_s \cdot (d - (d + d')/2) + f's \cdot ((d + d')/2 - d')}$$

$$A_s = \frac{Mu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h/2 - a/2)}{f_s \cdot (d/2 - d'/2) + f's \cdot (d/2 - d'/2)}$$

$$A_s = \frac{Mu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h/2 - a/2)}{(f_s + f's) \cdot (d/2 - d'/2)}$$

Multiplicando por 2 numerador y denominador la ecuación queda de la siguiente forma :

$$A_s = \frac{2 \cdot Mu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h - a)}{(f_s + f's) \cdot (d - d')} \quad \dots(2.13)$$

Igualando (2.11) = (2.13)

$$\frac{0.85 f'c \cdot a \cdot b - Pu/\phi}{f_s - f's} = \frac{2 \cdot Mu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h - a)}{(f_s + f's) \cdot (d - d')}$$

$$[2 \cdot Mu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h - a)] \cdot \frac{(f_s - f's)}{(f_s + f's) \cdot (d - d')} -$$

$$- 0.85 f'c \cdot a \cdot b + Pu/\phi = 0 \quad \dots(2.14)$$

Haciendo :

$$k = \frac{(f_s - f's)}{(f_s + f's) \cdot (d - d')} \quad \dots(2.15)$$

reemplazamos en (2.14)

$$[2 \cdot \mu / \phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h-a)] \cdot k - 0.85 f'c \cdot a \cdot b + P_u / \phi = 0$$

De donde obtenemos :

$$2 \cdot \mu / \phi \cdot k - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h-a) \cdot k - 0.85 f'c \cdot a \cdot b + P_u / \phi = 0 \quad \dots\dots(2.16)$$

La ecuación (2.16) es nuestra ecuación principal, la cual se resolvera, encontrandose el valor de "a" por aproximaciones sucesivas. A mi parecer la forma más adecuada de resolver ésta ecuación es mediante el método de Regula-Falsi.

Los valores de f_s y f'_s los hallaremos usando las ecuaciones (2.9) y (2.10).

NOTA : En la deducción de las ecuaciones, no se ha tomado en cuenta el área del concreto desplazado por el acero de compresión en las ecuaciones. Corregiremos el error cometido reduciendo el esfuerzo real en el acero de compresión en $0.85 f'c$ para dar cabida al hecho de que se consideró que el concreto que está allí transmite este refuerzo, es decir que se considera que el esfuerzo en el acero de compresión es $f'_s - 0.85 f'c$.

2.3 ELABORACION DEL PROGRAMA QUE DISEÑA LA COLUMNA CON REFUERZO SIMETRICO EN DOS CARAS.

2.3.1 EXPLICACION DE LA SECUENCIA A SEGUIR EN EL CALCULO DEL ACERO PARA EL DISEÑO EN EL PROGRAMA DE COMPUTO DE COLUMNAS.

Para poder resolver la ecuación (2.16) usaremos el método de Regula-Falsi.

Los valores iniciales para comenzar la iteración son " a_1 " y " a_2 " con los siguientes valores.

El valor de " a_1 " será igual al valor de $h/3$.

El valor de " a_2 " será igual al valor de $h/4$.

Estos valores de " a_1 " y " a_2 " son los necesarios para empezar la iteración de tal forma que la convergencia sea más rápida.

La ecuación (2.16) será nuestra ecuación de convergencia a la cual la escribiremos de la siguiente manera:

$$f(a) = 2 \cdot \mu / \phi \cdot k - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h-a) \cdot k - 0.85 f'c \cdot a \cdot b + Pu / \phi = 0 \quad \dots\dots(2.17)$$

En donde " a " será una raíz de $f(a)$ cuando $f(a)$ tienda a cero.

2.3.2 PROCESO DE ITERACION

- 1) Dado un valor de " a_1 " reemplazamos en las ecuaciones (2.9) y (2.10) y encontramos los valores correspondientes de f_s y f'_s para ese valor de " a ".
- 2) Reemplazamos los valores de f_s y f'_s en la ecuación (2.15) y encontramos el valor de " k ".
- 3) Con los datos de la sección, los esfuerzos a que está sometido (debido a P_u y μ), además de los valores de " a_1 " y " k " encontramos en la ecuación (2.17) un valor para $f(a_1)$.
- 4) Hacemos lo mismo para un valor de " a_2 " con los pasos 1), 2) y 3) y encontramos un valor de $f(a_2)$.

5) Calculamos un valor " a_3 " con la siguiente ecuación :

$$a_3 = a_1 - \frac{f(a_1) \cdot (a_2 - a_1)}{f(a_2) - f(a_1)}$$

6) Realizamos los pasos 1), 2) y 3) con el valor de " a_3 " y encontramos un valor de $f(a_3)$.

7) Evaluamos el valor de $f(a_1) \cdot f(a_3)$

Si este valor es positivo --> $a_2 = a_3$, a_1 no cambia

Si este valor es negativo --> $a_1 = a_3$, a_2 no cambia

8) Volvemos a calcular los pasos del 1) al 7) para los nuevos valores se a_1 y a_2 encontrando los nuevos valores de a_3 y $f(a_3)$ hasta que el valor de $f(a_3)$ sea aproximadamente igual a cero para lo cual el valor de a_3 sera la respectiva raiz de la ecuación (2.17). Este valor de a_3 sera el correspondiente al valor de "a" que es el ancho de compresión equivalente en el concreto para esta sección en la columna.

9) Con el valor de "a" encontrado, nos vamos a la ecuación (3) y calculamos el correspondiente valor de A_s que es la siguiente :

$$A_s = \frac{2 \text{ Mu} / \phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h - a)}{(f_s + f's) \cdot (d - d')}$$

10) Este valor de A_s hallado, es el correspondiente al necesario para soportar los esfuerzos P_u y M_u en la sección.

11) En el diseño calcularemos un número de varillas con una área de acero igual o superior al valor de A_s necesario, con el cual calcularemos el valor de la cuantía presentado.

$$\text{Cuantía} = \frac{2 \cdot (\text{N}^\circ \text{ de Varillas}) \cdot A_{s \text{ varillas}} \cdot 100 \%}{b \cdot h}$$

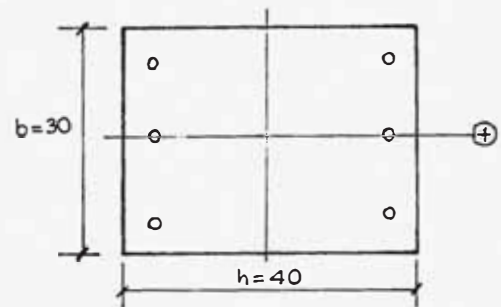
2.4 APLICACIONES Y DISCUSION DE RESULTADOS

2.4.1 EVALUACION DEL PROGRAMA

PROBLEMA: Diseñar la columna con las siguientes características.

$$\begin{aligned} f'c &= 280 \text{ Kg/cm}^2 & h &= 40 \text{ cm} \\ f_y &= 4200 \text{ Kg/cm}^2 & b &= 30 \text{ cm} \\ & & d &= 34 \text{ cm} \end{aligned}$$

Para soportar las siguientes cargas: $P_u = 100 \text{ tn}$
 $M_u = 20 \text{ tn.m}$



SOLUCION :

Usando las ecuaciones (2.5), (2.6), (2.13), (2.15) y (2.17)

$$P_u = \phi [0.85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + A_s \cdot (f's - f_s)] \dots (2.5)$$

$$M_u = P_u \cdot e = \phi [0.85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (h/2 - a/2) + A_s \cdot [f's \cdot (h/2 - d') + f_s \cdot (d - h/2)]] \dots (2.6)$$

$$f_s = 0.003 \frac{\beta_1 \cdot d - a}{a} E_s \dots (2.9)$$

$$f's = 0.003 \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} E_s \dots (2.10)$$

$$A_s = \frac{2 \cdot M_u / \phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h - a)}{(f_s + f's) \cdot (d - d')} \dots (2.13)$$

$$\begin{aligned} f(a) &= 2 \cdot M_u / \phi \cdot k - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h - a) \cdot k - 0.85 f'c \cdot a \cdot b + \\ &+ P_u / \phi = 0 \dots (2.17) \end{aligned}$$

Usando :

$$E_s = 2.03 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{para } f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \beta_1 = 0.85$$

$$d' = h - d = 6 \text{ cm.}$$

Reemplazando en las ecuaciones anteriores tendremos

$$f(a) = 5714285.7k - 7140a[(40 - a)k + 1] + 142857.1$$

en la ecuación (2.11)

$$k = \frac{(f_s - f'_s)}{28 \cdot (f_s + f'_s)}$$

$$f_s = 6090 \cdot \frac{(28.9 - a)}{a}$$

$$f'_s = \frac{6090 \cdot (a - 5.1)}{a}$$

Haciendo nuestra tabla de iteración

a (cm)	f(s) (kg/cm ²)	f's (kg/cm ²)	k (cm ⁻¹)	f(a)
15	5643 (4200)	4020 (3781)	0.0018731	41445
20	2710	4537 (4299)	-0.007701	-21954
19	3173	4455 (4217)	-0.004974	-7054
18	3688	4364 (4126)	-0.002004	8549
18.5	3424	4411 (4173)	-0.003524	638
18.54	3403	4414 (4176)	-0.003645	5.98

Nota : Los valores en parentesis dentro de la tabla corresponden a los esfuerzos reales actuantes. En el caso de f's es el valor de f's - 0.85 f'c .

Para a=18.54 en

$$f(a) = 5.98 \text{ kg} \approx 0$$

"a" será la raíz de la ecuación (2.13)

$$A_s = \frac{2 \cdot \mu / \phi - 0.85 f'_c \cdot a \cdot b \cdot (h - a)}{(f_s + f'_s) \cdot (d - d')} \quad \dots (2.13)$$

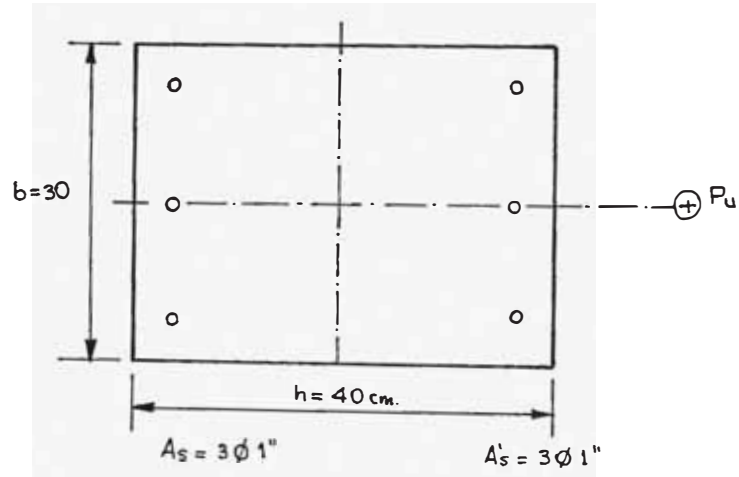
$$A_s = \frac{2 \cdot 2000000 / 0.7 - 0.85 \cdot 280 \cdot 18.54 \cdot 30 (40 - 18.54)}{(3403 + 4176)}$$

$$A_s = 13.54 \text{ cm}^2$$

Si usamos varillas de 1" tendremos que colocar :

$$A_s = 13.54 \text{ cm}^2 \quad (3 \text{ } \phi \text{ 1"})$$

Finalmente la columna quedará de la siguiente forma :



$$\text{Cuantia} = \frac{2 \times 15 \text{ cm}^2}{40 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}} = 2.50 \%$$

2.4.2 USANDO LAS GRAFICAS DE DISEÑO SP-7

Resolveremos el problema anterior usando las graficas del SP-7 para comprobar el programa.

$$g = \frac{(40-2 \times 6)}{40} \quad g = 0.7$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{20}{100} \quad e = 0.2 \text{ m.} = 20 \text{ cm.}$$

$$k' = \frac{P_u}{\phi f'c \cdot b \cdot h} = \frac{100}{0.7 \cdot 280 \cdot 30 \cdot 40}$$

$$k' = 0.425 \quad \dots (1)$$

$$k' \cdot \frac{e}{h} = \frac{0.425 \times 20}{40}$$

$$k' \cdot \frac{e}{h} = 0.2125 \quad \dots (2)$$

Con (1) y (2) entramos a la figura 2.3 y encontramos

$$\rho_u = 0.4$$

$$u = \frac{f_y}{0.85 f'c} = \frac{4200}{0.85 \cdot 280}$$

$$u = 17.64$$

$$\rho = \frac{0.4}{17.64}$$

$$\rho = 0.02266$$

$$A_{s_t} = \rho \cdot b \cdot h = 0.02266 \times 30 \times 40$$

$$A_{s_t} = 27.2 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_t} = 27.2 \text{ cm}^2 \text{ (usar 6 } \phi 1\text{")}$$

Por lo tanto, lo calculado con el programa *columnas* es correcto.

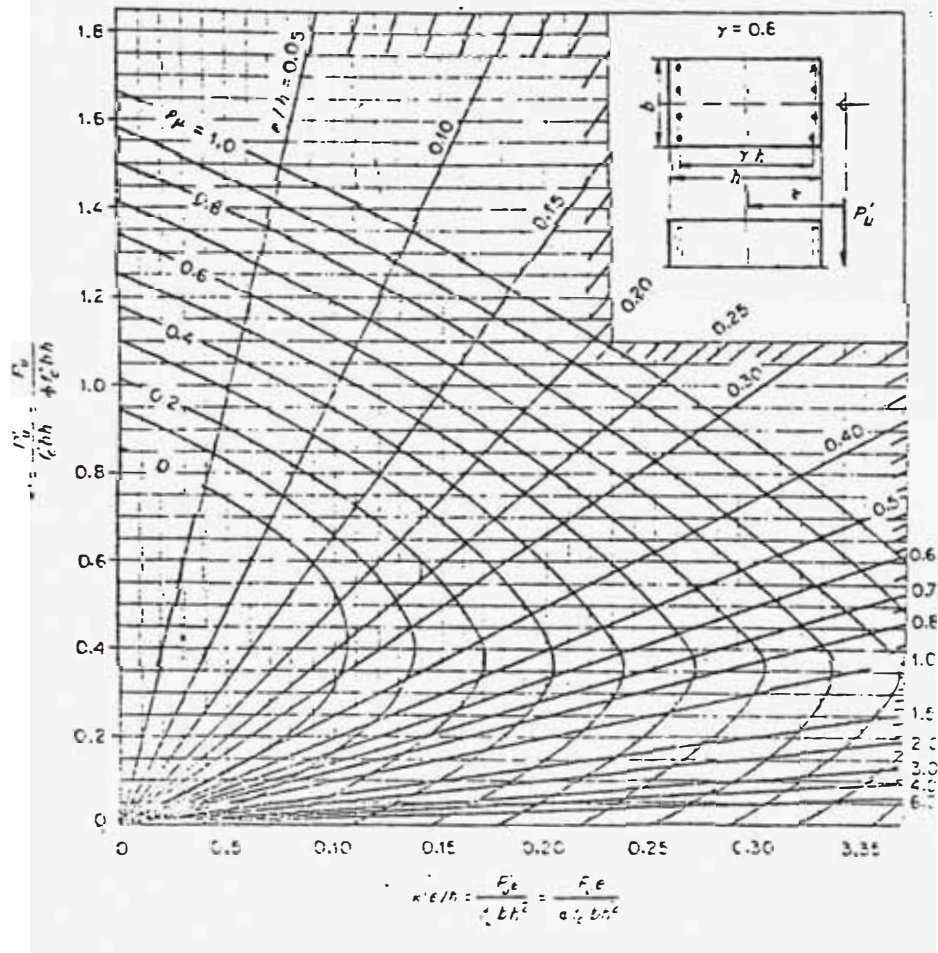


figura 2.3

```

Program Diseno_De_Columnas;
Uses
  Crt,Fic;
Const
  aprox=0.01;
  fi=0.7;      { factor de reduccion columnas estribadas }
Type Frase=String[50];
Var
  fc,fy,hh,bb,dd,d1,
  Pu,Mu,As,
  aa,a1,a2,B1,fs1,fs2,kk,
  e,f,g,c,d,
  Cuantia,Spalibre,gb,
  Asc,dvc:real;
  cond,ok: Boolean;
  varic:Frase;
  Tipo,nAs:Integer;
  Adonde:char;
Procedure DetenerPantalla;
Var
  ch:char;
Begin
  ch:=readkey;
End;
Procedure LogoColumnas;
Procedure Centra(y :Word;text:Frase);
Var
  lonword,lx :word;
Begin
  lonword:=Length(text);
  lx:=(80-lonword) div 2;
  gotoxy(lx,y);write(text);
end;
Begin
  Clrscr;
  HighVideo;
  Centra(6,'DISEÑO DE COLUMNAS');
  Centra(10,'DE CONCRETO ARMADO');
  Centra(14,'EN 2 CARAS');
  Centra(20,'Ing. JOSE RODRIGUEZ YAURI');
  DetenerPantalla;
End;
Procedure LeeTipoAcero(Var asv,dv:real;Var vari:frase;Mse:frase);
Var
  ch:char;
  i:Integer;
Procedure SeleccionAcero;
Begin
  Case Tipo of
    4: Begin asv:=1.29; dv:=1.27; vari:=' 1/2" ' end;   { ø = 1/2" }
    5: Begin asv:=2.00; dv:=1.59; vari:=' 5/8" ' end;   { ø = 5/8" }
    6: Begin asv:=2.84; dv:=1.91; vari:=' 3/4" ' end;   { ø = 3/4" }
  
```

```

7: Begin asv:=3.87; dv:=2.22; vari:=' 7/8" ' end; { ø = 7/8" }
8: Begin asv:=5.00; dv:=2.54; vari:=' 1" ' end; { ø = 1" }
9: Begin asv:=6.45; dv:=2.85; vari:=' 1 1/8" ' end; { ø = 1 1/8" }
10: Begin asv:=8.19; dv:=3.17; vari:=' 1 1/4" ' end; { ø = 1 1/4" }
11: Begin asv:=10.00; dv:=3.49; vari:=' 1 3/8" ' end; { ø = 1 3/8" }
end;
End;
Begin
Titulo(Mse);
clrscr;HighVideo;
gotoxy(30,2);write(' NUMERO          DIAMETRO ');
LowVideo;
gotoxy(30,4);write(' 4          1/2" ');
gotoxy(30,5);write(' 5          5/8" ');
gotoxy(30,6);write(' 6          3/4" ');
gotoxy(30,7);write('* 7          7/8" ');
gotoxy(30,8);write(' 8          1" ');
gotoxy(30,9);write('* 9          1 1/8" ');
gotoxy(30,10);write('* 10         1 1/4" ');
gotoxy(30,11);write(' 11         1 3/8" ');
HighVideo;
gotoxy(27,14);write(' NUMERO DE VARILLA A USAR : ');
gotoxy(12,17);
write('* Estas Varillas No se encuentran en el Mercado Peruano ');
ok:=false;
window(55,19,79,19);
Repeat
  clrscr;
  read(tipo);
  if tipo in [4..11] then ok:=true
    else son(350,150);
Until ok=true;
window(2,6,79,23);
Lowvideo;
SeleccionAcero;
End;
Procedure Datos;
Begin
MarcoFondo;
Titulo(' CARACTERISTICAS DE LA SECCION ');
gotoxy(30,5);write(' f',#39,' c (kg/cm',#253,' ) : ');read(fc);
gotoxy(30,6);write(' fy (kg/cm',#253,' ) : ');read(fy);
gotoxy(30,7);write(' h (cm) : ');read(hh);
gotoxy(30,8);write(' b (cm) : ');read(bb);
gotoxy(30,9);write(' d (cm) : ');read(dd);
End;
Procedure Fuerzas;
Begin
Titulo(' FUERZAS Y MOMENTOS QUE ACTUAN EN LA COLUMNA ');
gotoxy(30,5);write(' Pu (ton) : ');read(Pu);
gotoxy(30,6);write(' Mu (ton.m) : ');read(Mu);
LeeTipoAcero(Asc,dvc,varic,' ACERO A USAR EN EL DISEÑO DE LA COLUMNA ');
End;

```

```
Procedure InicializaValores;
```

```
Begin
```

```
  Pu:=Pu*1000;
```

```
  Mu:=Mu*1000000;
```

```
  if fc<=280 then B1:=0.85
```

```
      else B1:=0.85-Int((fc-280)/70)*0.05;
```

```
  a1:=hh/3;
```

```
  a2:=hh/4;
```

```
  d1:=hh-dd;
```

```
End;
```

```
Function CalFuncion(a: real):real;
```

```
Begin
```

```
  fs1:=6090*(B1*dd-a)/a;      {fs1:=fs}
```

```
  if fs1>fy then fs1:=fy;
```

```
  if fs1<-fy then fs1:=-fy;
```

```
  fs2:=6090*(a-B1*d1)/a;      {fs2:=fs'}
```

```
  if fs2>0 then fs2:=fs2-0.85*fc;
```

```
  if fs2>fy then fs2:=fy;
```

```
  if fs2<-fy then fs2:=-fy;
```

```
  kk:=(fs1-fs2)/(fs1+fs2)/(dd-d1);
```

```
  CalFuncion:=2*Mu/fi*kk-0.85*fc*a*bb*((hh-a)*kk+1)+Pu/fi;
```

```
End;
```

```
Procedure RegulaFalsi;
```

```
Begin
```

```
  cond:=true;d:=0;
```

```
  Repeat
```

```
    e:=CalFuncion(a1);
```

```
    f:=CalFuncion(a2);
```

```
    c:=a1-e*(a2-a1)/(f-e);
```

```
    if abs(d-c)<=aprox
```

```
      then Begin
```

```
        aa:=c;
```

```
        g:=CalFuncion(aa); {para que los valores finales de fs y f's  
                          sean los correspondientes a aa }
```

```
        cond:=false
```

```
      end
```

```
    else Begin
```

```
      d:=c;g:=CalFuncion(c);
```

```
      if e*g<0 then a2:=c
```

```
        else a1:=c;
```

```
    end;
```

```
  Until cond=false;
```

```
end;
```

```
Procedure CalculaAcero;
```

```
Begin
```

```
  As:=(2*Mu/fi-0.85*fc*aa*bb*(hh-aa))/((fs1+fs2)*(dd-d1));
```

```
End;
```



```

Procedure Nota;
Var
  ch:char;
Begin
  Titulo('ERROR !!! EN EL ACERO DE DISEÑO DE LA COLUMNA');
  gotoxy(1,5);
  writeln('                NO SE PUEDE USAR ESTE TIPO DE VARILLA');
  writeln('                EN ESTA COLUMNA, PORQUE SE NECESITAN');
  writeln('                UN ALTO NUMERO DE ELLAS, QUE NO ENTRAN');
  writeln('                EN LAS DIMENSIONES QUE SE TIENEN. ');
  gotoxy(1,10);HighVideo;
  writeln('                USAR UN TIPO DE VARILLA DE MAYOR DIAMETRO');
  LowVideo;
  gotoxy(25,16);writeln('Presione Enter Para Continuar');
  ch:=readkey;
End;
Procedure NumeVarillas;
Begin
  nAs:=trunc(As/Asc)+1;
  if nAs<2 then nAs:=2;
  Cuantia:=2*nAs*Asc/bb/hh*100;    (en porcentaje)
  gb:=bb-2*(hh-dd);
  SpaLibre:=(gb-(nAs-1)*dvc)/(nAs-1);
  if SpaLibre<2.54 then ok:=false
    else ok:=true;
End;
Procedure ImprimeResultados;
Begin
  Clrscr;
  Titulo('RESULTADOS EN EL DISEÑO DE LA COLUMNA');
  gotoxy(30,5);write('As = As',#39,' = ',As:6:2,' cm',#253);
  HighVideo;
  gotoxy(28,7);write('Usar : ',nAs,' ø',varic,' a cada lado');
  LowVideo;
  gotoxy(34,9);write('a = ',aa:5:2,' cm');
  gotoxy(34,10);write('c = ',aa/B1:5:2,' cm');
  HighVideo;
  gotoxy(32,12);write('Cuantia = ',Cuantia:5:2,' %');
  LowVideo;
  DetenerPantalla;
End;
Procedure EsperaParaIr;
Var
  ch:char;
Begin
  Titulo('MENU');
  HighVideo;
  gotoxy(36,5);write('PRESIONE');
  LowVideo;
  gotoxy(27,7);write('(      ) Para Nuevos Datos');
  gotoxy(27,8);write('<      > Para Nuevas Cargas');
  gotoxy(27,9);write('<      > Para Terminar');
  HighVideo;

```

```

gotoxy(28,7);write(' D ');
gotoxy(28,8);write('ENTER');
gotoxy(28,9);write(' ESC ');
LowVideo;
ok:=false;
Repeat
  ch:=upcase(readkey);
  if ch=#0 then ch:=readkey;
  if ch in ['D',#13,#27] then Begin ok:=true;Adonde:=ch end
                           else son(350,100);
Until ok=true;
End;

Begin          (* main Program *)
LogoTipo;
LogoColumnas;
Datos;
Repeat
  Fuerzas;
  InicializaValores;
  RegulaFalsi;
  CalculaAcero;
  Cond:=False;
  Repeat
    NumeVarillas;
    if ok=true
    then cond:=true
    else
    Begin
      Nota;
      LeeTipoAcero(Asc,dvc,varic,'ACERO A USAR EN EL DISEÑO DE LA COLUMNA');
    end;
  Until cond=true;
  ImprimeResultados;
  EsperaParaIr;
  if Adonde='D' then Datos;
Until Adonde=#27;
End.

```


CAPITULO III

3.0 DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO ASIMETRICO EN DOS CARAS.

3.1 ANALISIS DE LA INFORMACION TEORICA Y MATEMATICA EN EL DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO ASIMETRICO EN DOS CARAS.

3.1.1 GENERALIDADES

Existen casos en los cuales las columnas estan sujetas a baja carga axial y elevado momento flector; generalmente en edificios de uno o dos pisos, en los cuales se necesita más acero a uno de los lados de la columna, que tiene mayor flexión que la otra como la indicada en la fig.(3.1)

La solución de estos casos (optimizado el área de refuerzo), se hace mediante el dobléz de cierto número de varillas que sobresalen a las vigas superiores y se prolongan hasta una longitud necesaria en la cual disminuyen los refuerzos de tracción y pueden ser soportados por el acero del diseño propiamente dicho de la columna.(Fig.3.2)

3.1.2 EVALUACION DEL DISEÑO ASIMETRICO

El programa de computo que se elabora en este capitulo debe ser capaz de soportar dos tipos de momentos en la dirección de análisis y con sentidos contrarios, para una misma carga axial como muestra la figura (3.3). Esto lo conseguimos gracias al diseño asimétrico, que consiste en colocarle más acero de refuerzo al lado en que lo necesita.

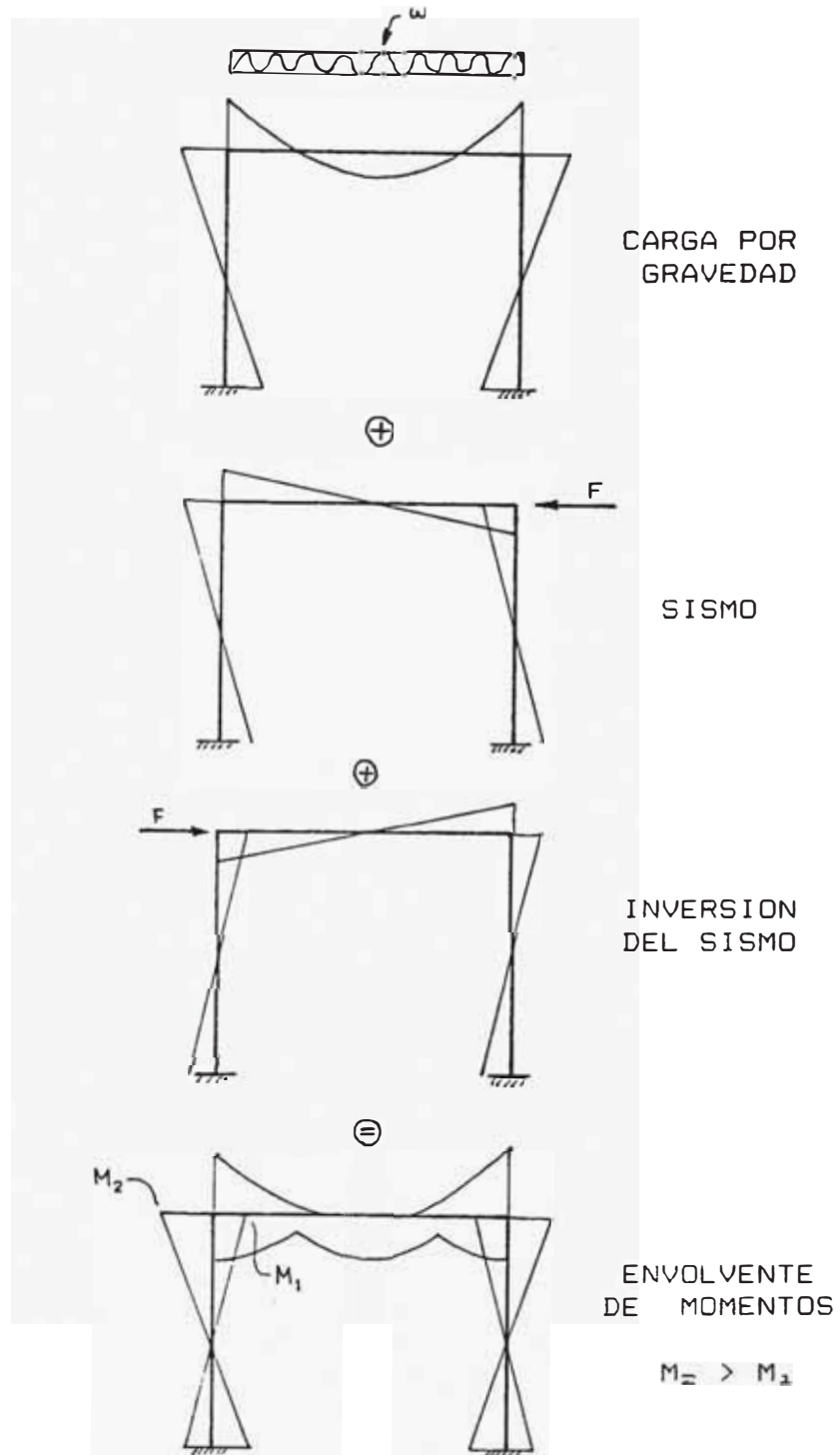


figura 3.1

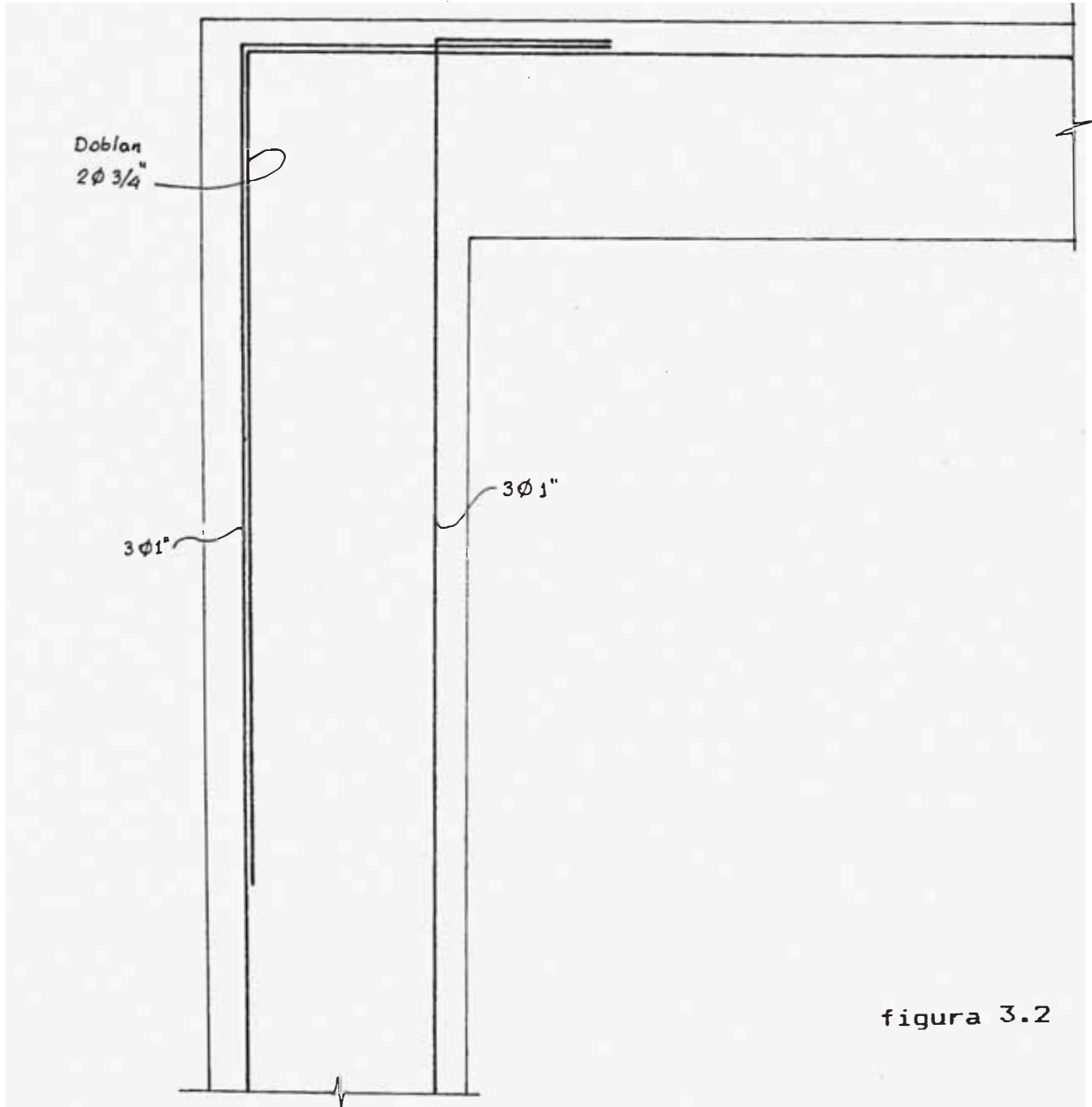
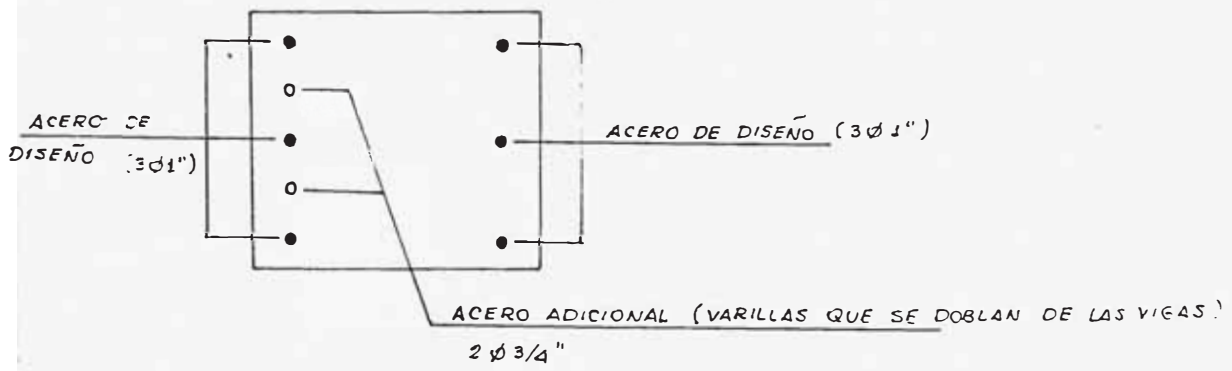


figura 3.2



3.2 ANALISIS DE LAS ECUACIONES Y ALGORITMOS USADOS EN EL DISEÑO DEL PROGRAMA DE DISEÑO DE COLUMNAS RECTANGULARES CON REFUERZO ASIMETRICO EN DOS CARAS

3.2.1 ECUACIONES BASICAS DE DISEÑO ASIMETRICO

En la figura 3.4 se muestra una sección rectangular con varillas en dos caras, cargada excéntricamente a la carga última. Nótese que la distribución de acción no es simétrica.

La ecuación de equilibrio obtenida de la suma de las fuerzas internas es :

$$P_u = 0.85 f'_c \cdot a \cdot b + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s \quad \dots(3.1)$$

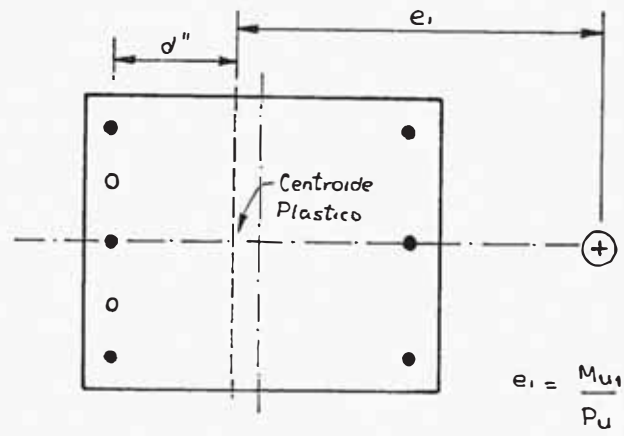
El centroide plástico es el centroide de resistencia de la sección si se comprime todo el concreto al esfuerzo máximo ($0.85 f'_c$) y se comprime todo el acero al esfuerzo de cedencia (f_y), con deformación uniforme en la sección. En otras palabras, el centroide plástico es el punto de aplicación de la carga externa P_o que produce una condición de falla por carga axial. Tomando momentos de las fuerzas internas alrededor del centroide del acero del lado izquierdo e igualándolos al momento de fuerza resultante se obtiene :

$$0.85 f'_c \cdot b \cdot h \cdot (d - 0.5 h) + A'_s \cdot f_y \cdot (d - d') = P_o \cdot d'' = [0.85 f'_c \cdot b \cdot h + (A_s + A'_s) \cdot f_y] \cdot d''$$

$$d'' = \frac{0.85 f'_c \cdot b \cdot h \cdot (d - 0.5 h) + A'_s \cdot f_y \cdot (d - d')}{0.85 f'_c \cdot b \cdot h + (A_s + A'_s) \cdot f_y} \quad \dots(3.2)$$

en que d'' es la distancia desde el centroide plástico al centroide del acero de tensión de la columna cuando se carga excéntricamente. Para miembros reforzados simétricamente, el

PRIMER CASO



SEGUNDO CASO

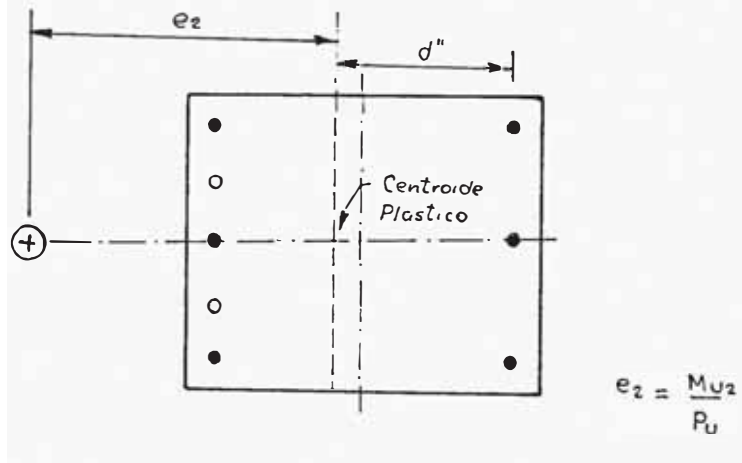


Figura 3.3

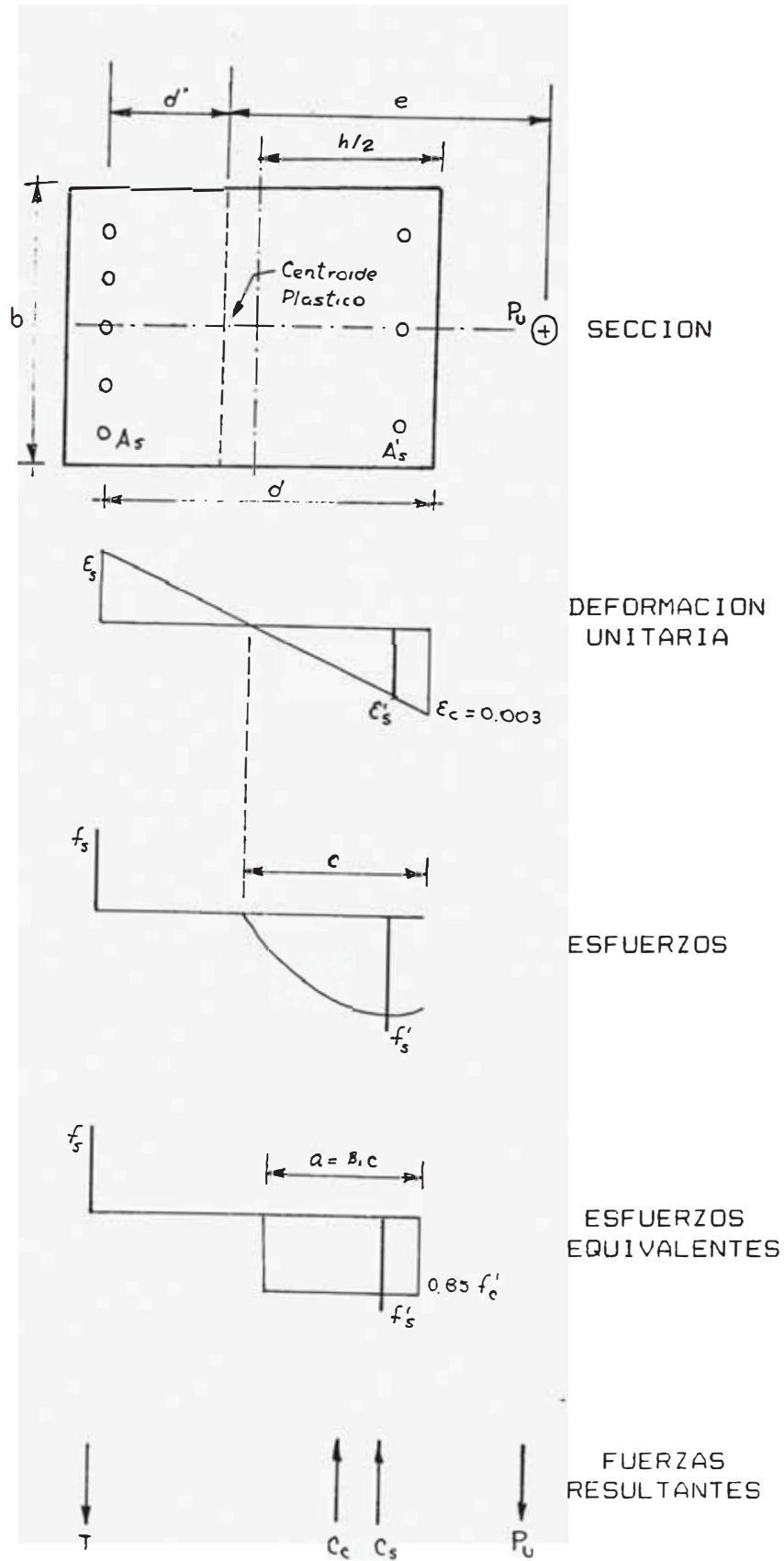


Figura 3.4 Sección de Columna con Refuerzo Asimétrico y carga excéntrica

centroide plástico corresponde al centro de la sección transversal.

Tomando momentos alrededor del centroide plástico en la columna cargada excéntricamente de la figura 3.4, se obtiene

$$M_u = P_u e = 0.85 f_c \cdot a \cdot b (d - d'' - 0.5 a) + A' s \cdot f' s (d - d' - d'') + A_s \cdot f_s \cdot d'' \quad \dots(3.3)$$

Las ecuaciones (3.1) y (3.3) son las ecuaciones básicas con las cuales haremos el diseño de nuestra columna asimétrica.

Los valores de f_s y $f' s$ los podremos calcular igualmente del programa de deformaciones (figura 3.4)

$$f_s = 0.003 \frac{\beta_1 \cdot d - a}{a} E_s \quad \dots(3.4)$$

$$f' s = 0.003 \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} E_s \quad \dots(3.5)$$

3.2.2 DEDUCCION DEL MOMENTO MAXIMO QUE RESISTE UNA COLUMNA RECTANGULAR CON REFUERZO ASIMETRICO DADA LA CARGA AXIAL QUE ACTUA SOBRE ELLA.

Con referencia a la figura (3.4) :

Usando las ecuaciones (3.1) y (3.3) con el factor de reducción $\phi=0.70$ tendremos :

$$P_u = \phi [0.85 f' c \cdot a \cdot b + A' s \cdot f' s - A_s \cdot f_s] \dots\dots\dots(3.6)$$

$$M_u = \phi [0.85 f' c \cdot a \cdot b (d - d'' - 0.5 \cdot a) + A' s \cdot f' s \cdot (d - d' - d'') + A_s \cdot f_s \cdot d''] \quad \dots\dots(3.7)$$

De (3.6)

$$0.85 f' c \cdot a \cdot b + A' s \cdot f' s - A_s \cdot f_s - P_u / \phi = 0 \quad \dots\dots(3.7)$$

Dándole la forma de una función :

$$f(a) = 0.85 f'c \cdot a \cdot b + A's \cdot f's - As \cdot fs - Pu/\phi \quad \dots\dots(3.8)$$

que será la ecuación de iteración para encontrar la posición exacta del ancho de compresión efectivo "a" será la raíz de la ecuación (3.8)

Este cálculo del valor de "a" por interacciones sucesivas lo haremos por el método de Regula-Falsi al igual que en el cálculo de Acero Simétrico en el capítulo II.

Los valores de f_s y $f's$ dependen también del valor de "a" y para esto usaremos las ecuaciones (3.4) y (3.5) que son las siguientes:

$$f_s = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \quad (3.4)$$

$$f's = 0.003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} E_s \quad (3.5)$$

De la ecuación (3.2), calculamos el valor de d'' .

Con todos los valores encontrados de "a", f_s y $f's$, d'' y los datos de geometría y resistencia de la sección pasamos a reemplazarla en la ecuación (3.7) y con lo que obtendremos el valor de M_u que será el Máximo Momento que resiste esta sección para una carga puntual P_u .

NOTA : En la deducción de las ecuaciones, no se ha tomado en cuenta el área del concreto desplazado por el acero de compresión en las ecuaciones. Corregiremos el error cometido reduciendo el esfuerzo real en el acero de compresión en $0.85 f'c$ para dar cabida al hecho de que se consideró que el concreto que está allí transmite este refuerzo, es decir que

se considera que el esfuerzo en el acero de compresión es $f's - 0.85 f'c$.

3.3 ELABORACION DEL PROGRAMA QUE DISEÑA LA COLUMNA CON REFUERZO ASIMETRICO EN LAS DOS CARAS

Los datos que tendremos antes del análisis son las dimensiones de las columnas, la carga P_u y los momentos M_1 y M_2 ($M_2 > M_1$)

Como $M_2 > M_1$ consideraremos $M_u = M_2$

3.3.1 PASOS A SEGUIR

1) Escogemos un valor de α (de 0 a 1). El valor α es un factor que afectará el Momento M_u para reducirlo y hacer un diseño con un valor más bajo del M_u .

2) Con P_u y $\alpha \cdot M_u$ hacemos un diseño simétrico de la columna obteniendo un valor A_s y $A's$ como lo indica la figura 3.5

3) Al valor de A_s le añadimos el acero correspondiente al número de varillas adicionales que vamos a incluir a este lado de la columna que serán las varillas que se doblan desde la viga para ayudar a la contribución del momento flector a ese lado. La figura (3.6) muestra lo explicado anteriormente.

4) Calculemos los momentos máximos que soporta la columna en los sentidos de análisis siguientes:

a) Cuando la tracción se encuentra en el refuerzo A_s (figura 3.8).

b) Cuando la tracción se encuentra en el refuerzo $A's$ (fig. 3.9)

5) Los Momentos Máximos calculados que resiste la sección con los aceros diseñados y añadidos se comparan con los momentos M_{u1} y M_{u2} resistentes de la sección son mayores que los requeridos , entonces el diseño está correcto, pero si falla uno de ellos se hace el siguiente ajuste :

a) Si $M_{r1} < M_{u1}$ y $M_{r2} > M_{u2}$ se aumentará el valor de α , cuando α no pase del valor 1.0.

b) Si $M_{r1} > M_{u2}$ y $M_{r2} < M_{u2}$ se aumentará el número de varillas adicionados de doblez, ó sino, el diámetro de esta varilla.

Con el nuevo valor de α ó el nuevo número de varillas, se pasará a un nuevo diseño desde el paso 1).

3.4 APLICACIONES Y DISCUSION DE RESULTADOS

PROBLEMA :

Diseñar la sección de columna con las siguientes características y esfuerzos solicitados. Usar diseño asimétrico.

$$\begin{array}{ll} f'c=280 \text{ kg/cm}^2 & Pu=50 \text{ tn} \\ fy =4200 \text{ kg/cm}^2 & M2=36 \text{ tn} \\ h =50 \text{ cm} & M1=25 \text{ tn} \\ b = 40 \text{ cm} & \\ d = 44 \text{ cm} & \end{array}$$

SOLUCION :

$$\alpha = \frac{M_1}{M_2} = \frac{25}{36} = 0.69 \approx 0$$

Usamos

$$\alpha = 70 \%$$

Hacemos un diseño simétrico inicial con $Pu = 50 \text{ tn.}$
 $\alpha Mu = 25.2 \text{ tn.m}$

Del Capitulo 2 usamos las ecuaciones (2.5) y (2.6)

$$d' = h - d = 50 - 44 = 6 \text{ cm.}$$

$$f_s = 6090 \cdot \frac{(\beta_1 \cdot d - a)}{a} = 6090 \cdot \frac{(37.4 - a)}{a}$$

$$f'_s = 6090 \cdot \frac{(a - \beta_1 \cdot d')}{a} = 6090 \cdot \frac{(a - 5.1)}{a}$$

$$k = \left[\frac{(f_s - f'_s)}{(f'_s + f_s)(d - d')} \right] = \left[\frac{(f_s - f'_s)}{(f_s + f'_s)(38)} \right]$$

$$\begin{aligned} f(a) = 2 \cdot Mu / \phi \cdot k - 0.85 f'c \cdot a \cdot b \cdot (h - a) \cdot k & \quad 0.85 f'c \cdot a \cdot b + \\ + Pu / \phi = 0 & \quad \dots \dots (2.17) \end{aligned}$$

Reemplazando valores:

$$f(a) = 10285714.3 k - 9520 a [(50 - a)k + 1] + 71428.6$$

Tabulando valores :

a (cm)	f(s) (kg/cm ²)	f's (kg/cm ²)	k (cm ⁻¹)	f(a)
15	9094 (4800)	4019 (3781)	0.001380	-68332
10	16687 (4200)	2984 (2746)	0.005508	-5087
9	19217 (4200)	2639 (2401)	0.007172	12192
9.5	17885 (4200)	2820 (2582)	0.006275	3185
9.7	17391 (4200)	2888 (2650)	0.005954	-202
9.69	17415 (4200)	2884 (2646)	0.005970	-35.8

Para $a = 9.69$ cm

$$f(a) = -35.8 \approx 0$$

Por lo tanto :

$a = 9.69$ cm será la raíz de la ecuación (3.13)

Reemplazando en (3)

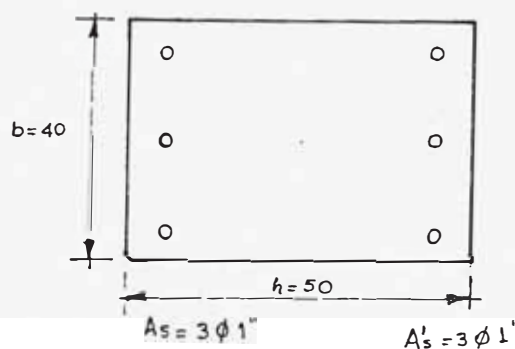
$$A_s = \frac{2 \cdot \mu / \phi - 0.85 f' s \cdot a \cdot b (h - a)}{(f_s + f' s) (d - d')}$$
 (3)

$$A_s = \frac{2 \cdot 2520000 / 0.7 - 0.85 \cdot 280 \cdot 9.69 \cdot 40 \cdot (50 - 9.69)}{(4200 + 2646) (44 - 6)}$$

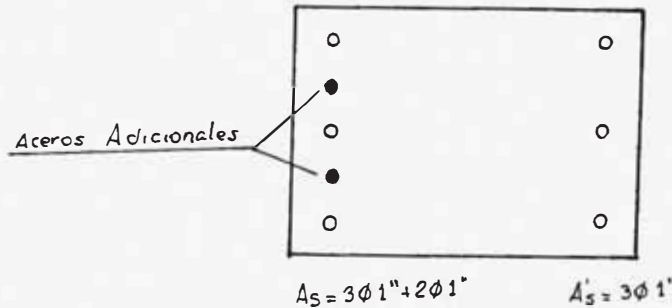
$$A_s = \frac{3481450}{6846.38} \quad A_s = 13.38 \text{ cm}^2$$

Usaremos : $3 \phi 1''$ (15 cm²)

Por lo que la columna quedará de la siguiente forma:



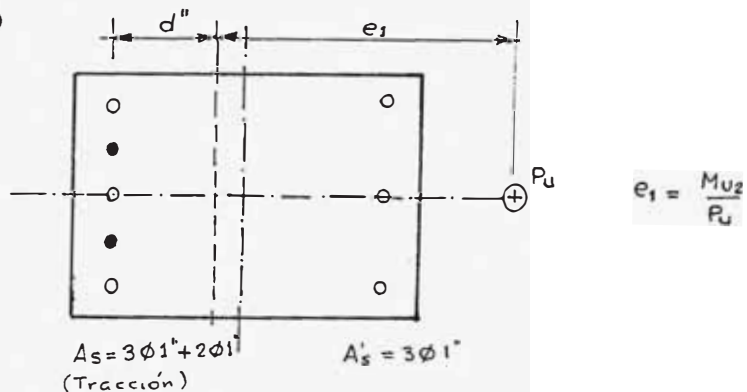
Añadiendo las 2 varillas adicionales de 1" de diámetro tendremos :



Con la sección mostrada en la figura anterior con 3 ϕ 1" + 2 ϕ 1" en un lado y 3 ϕ 1" en el otro, calcularemos los máximos momentos que puede resistir la sección en los dos sentidos de la dirección de análisis cuando actúa una Carga Axial igual a 50 ton.

Primer caso :

Cuando la tracción esta en el refuerzo A_s (Momento flector al lado izquierdo)



Como la distribución de aceros es asimétrica usaremos las siguientes ecuaciones :

$$P_u = \phi [0.85 f'c \cdot a \cdot b + A'_s \cdot f'_s - A_s \cdot f_s] \dots \dots (3.6)$$

$$M_u = \phi [0.85 f'c \cdot a \cdot b (d - d'' - 0.5 \cdot a) + A'_s \cdot f'_s \cdot (d - d' - d'') + A_s \cdot f_s \cdot d''] \dots \dots (3.7)$$

$$f(a) = 0.85 f'c \cdot a \cdot b + A's \cdot f's - A_s \cdot f_s - Pu/\phi \quad \dots\dots(3.8)$$

$$f_s = 0.003 \frac{\beta_1 \cdot d - a}{a} E_s \quad \dots(3.4)$$

$$f's = 0.003 \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} E_s \quad \dots(3.5)$$

Para $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \beta_1 = 0.85$

$E_s = 2.03 \text{ E } 10^6 \text{ kg/cm}^2$

$A_s : 3 \text{ } \phi 1'' + 2 \text{ } \phi 1'' \quad (25 \text{ cm}^2)$

$A's : 3 \text{ } \phi 1'' \quad (15 \text{ cm}^2)$

Reemplazando valores pasamos a tabular nuestra tabla :

a (cm)	f(s) (kg/cm ²)	f's (kg/cm ²)	f(a) (kg)
10	16686 (4200)	2984 (2740)	-40037
13	11430 (4200)	3700 (3464)	-726
13.10	11296 (4200)	3719 (3481)	499
13.06	11349 (4200)	3712 (3474)	9.9

Por lo tanto para $a = 13.06 \text{ cm} \rightarrow f(a) \approx 0$

luego a es una raíz de la ecuación (3.8)

Calculamos el valor de d'' usando la ecuación (3.2)

$$d'' = \frac{0.85 \times 280 \times 40 \times 50 \times (44 - 0.5 \times 50) + 15 \times 4200 \times (44 - 6)}{0.85 \times 280 \times 40 \times 50 + (15 + 25) \times 4200}$$

$$d'' = 17.76 \text{ cm.}$$

Reemplazando los valores hallados en la ecuación (3.7)

$$Mu = 0.7 [0.85 \times 280 \times 13.06 \times 40 \times (44 - 17.76 - 0.5 \times 13.06) + 15 \times 3474 \times (44 - 6 - 17.76) + 25 \times 4200 \times 17.76]$$

$$Mu = 3759052 \text{ kg.cm}$$

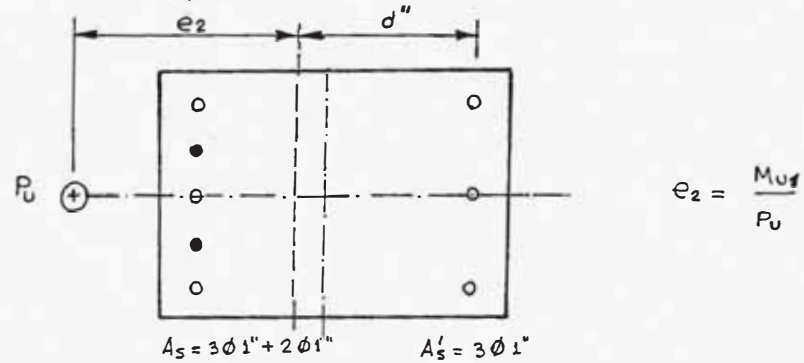
$$Mu = 37.59 \text{ ton.m}$$

Como :

$$Mu_{izq} = 37.59 \text{ ton.m} > Mu_2 = 36 \text{ ton.m} \quad \text{OK!}$$

Segundo Caso :

Cuando la tracción está en el Refuerzo A's (Momento flector al lado derecho).



Las ecuaciones seran :

$$P_u = \phi [0.85 f'_c \cdot a \cdot b + A_s \cdot f_s - A'_s \cdot f'_s] \dots \dots (1)$$

$$M_u = \phi [0.85 f'_c \cdot a \cdot b (d - d'' - 0.5 \cdot a) + A_s \cdot f_s \cdot (d - d' - d'') + A'_s \cdot f'_s \cdot d''] \dots \dots (2)$$

$$f(a) = 0.85 f'_c \cdot a \cdot b + A_s \cdot f_s - A'_s \cdot f'_s - P_u / \phi \dots \dots (3)$$

$$f_s = 0.003 \frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} E_s \dots (4)$$

$$f'_s = 0.003 \frac{\beta_1 \cdot d - a}{a} E_s \dots (5)$$

Reemplazando valores e iterando :

a (cm)	f(s) (kg/cm ²)	f's (kg/cm ²)	f(a) (kg)
10	2984 (2746)	16687 (4200)	29424
8	2207 (1969)	22380 (4200)	-9028
8.5	2436 (2198)	20706 (4200)	1441
8.43	2406 (2168)	20928 (4200)	16.5

Calculamos el valor de d''

$$d'' = \frac{0.85 \times 280 \times 40 \times 50 \times (44 - 0.5 \times 50) + 25 \times 4200 \times (44 - 6)}{0.85 \times 280 \times 40 \times 50 + (25 + 15) \times 4200}$$

$$d'' = 20.24 \text{ cm.}$$

Reemplazando los valores hallados en la ecuación (2)

$$Mu = 0.7[0.85 \times 280 \times 8.43 \times 40 \times (44 - 20.24 - 0.5 \times 8.43) + 25 \times 21.68 \times (44 - 6 - 20.24) + 15 \times 4200 \times 20.24]$$

$$Mu = 2664388 \text{ kg.cm.}$$

$$Mu = 26.64 \text{ ton.m.}$$

Como :

$$Mu_{\text{d-er}} = 26.64 \text{ ton.m} > Mu_1 = 25 \text{ ton.m} \quad \text{OK!}$$

Por lo tanto el diseño hecho es correcto y verificado por el programa *columasi*.

NOTA : Los valores presentados en parentesis en las tablas anteriores son los valores reales que actuan para esos esfuerzos de sollicitación. En el caso de f's (sección a compresión) es el valor de f's -0.85 f's .

Como se puede observar en los resultados obtenidos cuando la tracción está al lado derecho la columna resiste 37.59 ton.m .Sin embargo cuando la tracción esta al otro lado la columna solo resiste 26.64 ton.m, es decir 30 % menos de lo que resiste en el lado derecho.

Esta ventaja de usar más acero de refuerzo a un lado de la sección solo puede ser usada cuando la carga axial es baja y los momentos flectores actuantes son considerables


```

Program Diseno_De_Columnas_con_Acero_Adicional;
Uses
  Crt,Fic;
Const
  aprox=0.01;
  fi=0.7;      { factor de reduccion columnas estribadas }
Type Frase=String[80];
Var
  fc,fy,hh,bb,dd,d1,gb,
  Pu,Mu,Muc,As,
  aa,a1,a2,B1,fs1,fs2,kk,
  e,f,g,c,d,alfa,
  Asc,dvc,Asa,dva,
  AsAdi,As1,As2,
  SpaLibre,Cuantia      :real;
  Tipo,nAs,nAsA:integer;
  cond,ok: Boolean;
  varic,varia:frase;
  Adonde: char;
Procedure DetenerPantalla;
Var
  ch:char;
Begin
  ch:=readkey;
End;
Procedure LogoColumnas;
Procedure Centra(y :Word;text:Frase);
Var
  lonword,lx :word;
Begin
  lonword:=Length(text);
  lx:=(80-lonword) div 2;
  gotoxy(lx,y);write(text);
end;
Begin
  Clrscr;
  HighVideo;
  Centra(7,'DISEÑO DE COLUMNAS');
  Centra(10,'DE CONCRETO ARMADO');
  Centra(13,'EN 2 CARAS');
  Centra(16,'CON VARILLAS ADICIONALES');
  Centra(20,'Ing. JOSE RODRIGUEZ YAURI');
  DetenerPantalla;
End;
Procedure LeeTipoAcero(Var asv,dv:real;Var vari:frase;Mse:frase);
Var
  ch:char;
  i:Integer;
Procedure SeleccionAcero;
Begin
  Case Tipo of
    4: Begin asv:=1.29; dv:=1.27; vari:=' 1/2" ' end;   { ø - 1/2" }

```

```

5: Begin asv:=2.00; dv:=1.59; vari:=' 5/8" ' end; { ø = 5/8" }
6: Begin asv:=2.84; dv:=1.91; vari:=' 3/4" ' end; { ø = 3/4" }
7: Begin asv:=3.87; dv:=2.22; vari:=' 7/8" ' end; { ø = 7/8" }
8: Begin asv:=5.00; dv:=2.54; vari:=' 1" ' end; { ø = 1" }
9: Begin asv:=6.45; dv:=2.85; vari:=' 1 1/8" ' end; { ø = 1 1/8" }
10: Begin asv:=8.19; dv:=3.17; vari:=' 1 1/4" ' end; { ø = 1 1/4" }
11: Begin asv:=10.00; dv:=3.49; vari:=' 1 3/8" ' end; { ø = 1 3/8" }
end;
End;
Begin
  Titulo(Mse);
  clrscr;HighVideo;
  gotoxy(30,2);write('NUMERO          DIAMETRO');
  LowVideo;
  gotoxy(30,4);write(' 4          1/2" ');
  gotoxy(30,5);write(' 5          5/8" ');
  gotoxy(30,6);write(' 6          3/4" ');
  gotoxy(30,7);write('* 7          7/8" ');
  gotoxy(30,8);write(' 8          1" ');
  gotoxy(30,9);write('* 9          1 1/8" ');
  gotoxy(30,10);write('* 10          1 1/4" ');
  gotoxy(30,11);write(' 11          1 3/8" ');
  HighVideo;
  gotoxy(27,14);write('NUMERO DE VARILLA A USAR : ');
  gotoxy(12,17);
  write('* Estas Varillas No se encuentran en el Mercado Peruano');
  ok:=false;
  window(55,19,79,19);
  Repeat
    clrscr;
    read(tipo);
    if tipo in [4..11] then ok:=true
      else son(350,150);

  Until ok=true;
  window(2,6,79,23);
  Lowvideo;
  SeleccionAcero;
End;
Procedure Datos;
Begin
  MarcoFondo;
  Titulo('CARACTERISTICAS DE LA SECCION');
  gotoxy(30,5);write('f',#39,'c (kg/cm',#253,') : ');read(fc);
  gotoxy(30,6);write('fy (kg/cm',#253,') : ');read(fy);
  gotoxy(30,7);write('h (cm) : ');read(hh);
  gotoxy(30,8);write('b (cm) : ');read(bb);
  gotoxy(30,9);write('d (cm) : ');read(dd);
End;
Procedure Fuerzas;
Begin
  Titulo('FUERZAS Y MOMENTOS QUE ACTUAN EN LA COLUMNA');
  gotoxy(32,5);write('Pu (ton) : ');read(Pu);

```

```

gotoxy(32,6);write('Mu (ton.m) : ');read(Mu);
HighVideo;
gotoxy(30,9);write('Diseño con Pu y  $\alpha$ *Mu');
LowVideo;
gotoxy(30,11);write('a (porcentaje) : ');read(alfa);
Muc:=(alfa/100)*Mu*100000;
LeeTipoAcero(Asc,dvc,varic,'ACERO A USAR EN EL DISEÑO DE LA COLUMNA');
End;
Procedure AceroAdicional;
Begin
  Titulo('ACERO ADICIONAL A USAR');
  clrscr;
  gotoxy(24,6);
  HighVideo;
  write('NUMERO DE VARILLAS ADICIONALES : ');read(nAsA);
  LowVideo;
  LeeTipoAcero(Asa,dva,varia,'ACERO ADICIONAL A USAR');
  AsAdi:=nAsA*Asa;
End;

Procedure InicializaValores;
Begin
  Pu:=Pu*1000;
  Mu:=Mu*100000;
  if fc<=280 then B1:=0.85
    else B1:=0.85-Int((fc-280)/70)*0.05;
  a1:=hh/3;
  a2:=hh/4;
  d1:=hh-dd;
End;

Function CalFuncion(a: real):real;
Begin
  fs1:=6090*(B1*dd-a)/a;      {fs1:=fs}
  if fs1>fy then fs1:=fy;
  if fs1<-fy then fs1:=-fy;
  fs2:=6090*(a-B1*d1)/a;      {fs2:=fs'}
  if fs2>0 then fs2:=fs2-0.85*fc;
  if fs2>fy then fs2:=fy;
  if fs2<-fy then fs2:=-fy;
  kk:=(fs1-fs2)/(fs1+fs2)/(dd-d1);
  CalFuncion:=2*Muc/fi*kk-0.85*fc*a*bb*((hh-a)*kk+1)+Pu/fi;
End;

Procedure RegulaFalsi;
Begin
  cord:=true;d:=0;
  Repeat
    e:=CalFuncion(a1);
    f:=CalFuncion(a2);
    c:=a1-e*(a2-a1)/(f-e);
  Until

```

```

if abs(d-c)<=aprox
then Begin
    aa:=c;
    g:=CalFuncion(aa); {para que los valores finales de fs y f's
                        sean los correspondientes a aa }
    cond:=false
end
else Begin
    d:=c;g:=CalFuncion(c);
    if e*g<0 then a2:=c
    else a1:=c;
end;
Until cond=false;
end;
Procedure CalculaAcero;
Begin
    As:=(2*Muc/fi-0.85*fc*aa*bb*(hh-aa))/((fs1+fs2)*(dd-d1));
End;
Procedure Nota;
Var
    ch:char;
Begin
    Titulo('ERROR !!! EN EL ACERO DE DISEÑO DE LA COLUMNA');
    gotoxy(1,5);
    writeln('
                                NO SE PUEDE USAR ESTE TIPO DE VARILLA');
    writeln('
                                EN ESTA COLUMNA, PORQUE SE NECESITAN');
    writeln('
                                UN ALTO NUMERO DE ELLAS, QUE NO ENTRAN');
    writeln('
                                EN LAS DIMENSIONES QUE SE TIENEN. ');
    gotoxy(1,10);HighVideo;
    writeln('
                                USAR UN TIPO DE VARILLA DE MAYOR DIAMETRO');
    LowVideo;
    gotoxy(25,16);writeln('Presione Enter Para Continuar');
    ch:=readkey;
End;
Procedure NumeVarillas;
Begin
    nAs:=trunc(As/Asc)+1;
    if nAs<2 then nAs:=2;
    Cuantia:=2*nAs*Asc/bb/hh*100;    {en porcentaje}
    gb:=bb-2*(hh-dd);
    SpaLibre:=(gb-(nAs-1)*dvc)/(nAs-1);
    if SpaLibre<2.54 then ok:=false
    else ok:=true;
End;
Procedure ImprimeResultados;
Begin
    Clrscr;
    Titulo('RESULTADOS EN EL DISEÑO DE LA COLUMNA');
    gotoxy(30,5);write('As = A',#39,'s = ',As:6:2,' cm'.#253);
    HighVideo;
    gotoxy(34,7);write('Usar : ',nAs,' ø',var1c);
    LowVideo;

```

```

gotoxy(34,9);write('a = ',aa:5:2,' cm');
gotoxy(34,10);write('c = ',aa/B1:5:2,' cm');
HighVideo;
gotoxy(32,12);write('Cuantia = ',Cuantia:5:2,' %');
LowVideo;
DetenerPantalla;
End;
Function CalculaMu(AAs1,AAs2:real):real;
Var
  d2:real;
Function CalFuncion(a: real):real;
Begin
  fs1:=6090*(B1*dd-a)/a;      {fs1:=fs}
  if fs1>fy then fs1:=fy;
  if fs1<-fy then fs1:=-fy;
  fs2:=6090*(a-B1*d1)/a;      {fs2:=fs'}
  if fs2>0 then fs2:=fs2-0.85*fc;
  if fs2>fy then fs2:=fy;
  if fs2<-fy then fs2:=-fy;
  kk:=(fs1-fs2)/(fs1+fs2)/(dd-d1);
  CalFuncion:=0.85*fc*aa*bb+AAs2*fs2-AAs1*fs1-Pu/fi;
End;
Procedure RegulaFalsi;
Begin
  cond:=true;d:=0;
  Repeat
    e:=CalFuncion(a1);
    f:=CalFuncion(a2);
    c:=a1-e*(a2-a1)/(f-e);
    if abs(d-c)<=aprox
      then Begin
        aa:=c;
        g:=CalFuncion(aa); {para que los valores finales de fs y f's
                           sean los correspondientes a aa}
        cond:=false
      end
    else Begin
      d:=c;g:=CalFuncion(c);
      if e*g<0 then a2:=c
        else a1:=c;
    end;
  Until cond=false;
end;
Begin
  a1:=hh/3;
  a2:=hh/4;
  RegulaFalsi;
  d2:=(0.85*fc*bb*hh*(dd-0.5*hh)+AAs2*fy*(dd-d1))/
    (0.85*fc*bb*hh+(AAs1+AAs2)*fy);
  CalculaMu:=fi*(0.85*fc*aa*bb*(dd-d2-0.5*aa)+
    AAs2*fs2*(dd-d1-d2)+AAs1*fs1*d2);
End;

```

```

Procedure ImprimeResultadosFinales;
Var
  ch:char;
Begin
  Titulo('MOMENTOS MAXIMOS QUE RESISTE LA SECCION');
  As1:=nAs*Asc;As2:=As1+AsAdi;
  Cuantia:=(As1+As2)/bb/hh*100; {en porcentaje}
  HighVideo;
  gotoxy(32,2);Write('ACERO QUE SE USO');
  LowVideo;
  gotoxy(33,4);write('A',#39,'s =',As1:6:2,' cm2');
  HighVideo;
  gotoxy(34,5);write('A',#39,'s : ',nAs,' ø',varic);
  LowVideo;
  gotoxy(34,7);write('As=',As2:6:2,' cm2');
  HighVideo;
  gotoxy(30,8);write('As : ',nAs,' ø',varic,' + ',nAsA,' ø',varia);
  gotoxy(32,10);write('Cuantia = ',Cuantia:5:2,' %');
  gotoxy(32,13);write('MOMENTOS MAXIMOS');
  LowVideo;
  gotoxy(22,15);
  write('Momento Maximo izq = ',CalculaMu(As2,As1)/100000:7:2,' ton.m');
  gotoxy(22,16);
  write('Momento Maximo der = ',CalculaMu(As1,As2)/100000:7:2,' ton.m');
  ch:=readkey;
End;

Procedure EsperaParaIr;
Var
  ch:char;
Begin
  Titulo('MENU');
  HighVideo;
  gotoxy(36,5);write('PRESIONE');
  LowVideo;
  gotoxy(27,7);write('(      ) Para Nuevos Datos');
  gotoxy(27,8);write('<      > Para Nuevas Cargas');
  gotoxy(27,9);write('<      > Para Terminar');
  HighVideo;
  gotoxy(28,7);write(' D ');
  gotoxy(28,8);write('ENTER');
  gotoxy(28,9);write(' ESC ');
  LowVideo;
  ok:=false;
  Repeat
    ch:=upcase(readkey);
    if ch=#0 then ch:=readkey;
    if ch in ['D',#13,#27] then Begin ok:=true;Adonde:=ch end
    else son(350,100);
  Until ok=true;
End;

```

```
Begin          (* main Program *)
LogoTipo;
LogoColumnas;
Datos;
Repeat
  Fuerzas;
  AceroAdicional;
  InicializaValores;
  RegulaFalsi;
  CalculaAcero;
  cond:=false;
  Repeat
    NumeVarillas;
    if ok=true
      then cond:=true
    else
      Begin
        Nota;
        LeeTipoAcero(Asc,dvc,varic,'ACERO A USAR EN EL DISEÑO DE LA COLUMNA');
      end;
  Until cond=true;
  ImprimeResultados;
  ImprimeResultadosFinales;
  EsperaParaIr;
  if Adonde='D' then Datos;
Until Adonde=#27;
End.
```

CAPITULO IV

4.0 DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO EN LAS CUATRO CARAS.

4.1 ANALISIS DE LA INFORMACION TEORICA Y MATEMATICA EN EL DISEÑO SIMETRICO EN LAS CUATRO CARAS.

Generalmente las columnas tienen varillas distribuidas en las cuatro caras y aunque parezca de poca importancia la contribución que ejercen las varillas laterales o la dirección de análisis es de gran magnitud, por lo que en un diseño no debería despreciarsele.

Se dificulta la deducción de ecuaciones de análisis y diseño debido a que las varillas pueden estar a distintos niveles de esfuerzos en toda la sección. Se puede desarrollar el análisis de esa acción utilizando los requerimientos de compatibilidad de deformaciones y equilibrio.

Considerese la sección de columna reforzada, simétricamente mostrada en la fig 4.1 en la carga última. Para una varilla cualquiera i en la sección, el diagrama de deformaciones indica que :

$$\epsilon_{s_i} = \frac{0.003(c - d_i)}{c} \quad \dots (4.1)$$

en que las deformaciones de compresión son positivas y las deformaciones de tensión negativas. Las siguientes relaciones dan entonces el esfuerzo f_{s_i} en la varilla i .

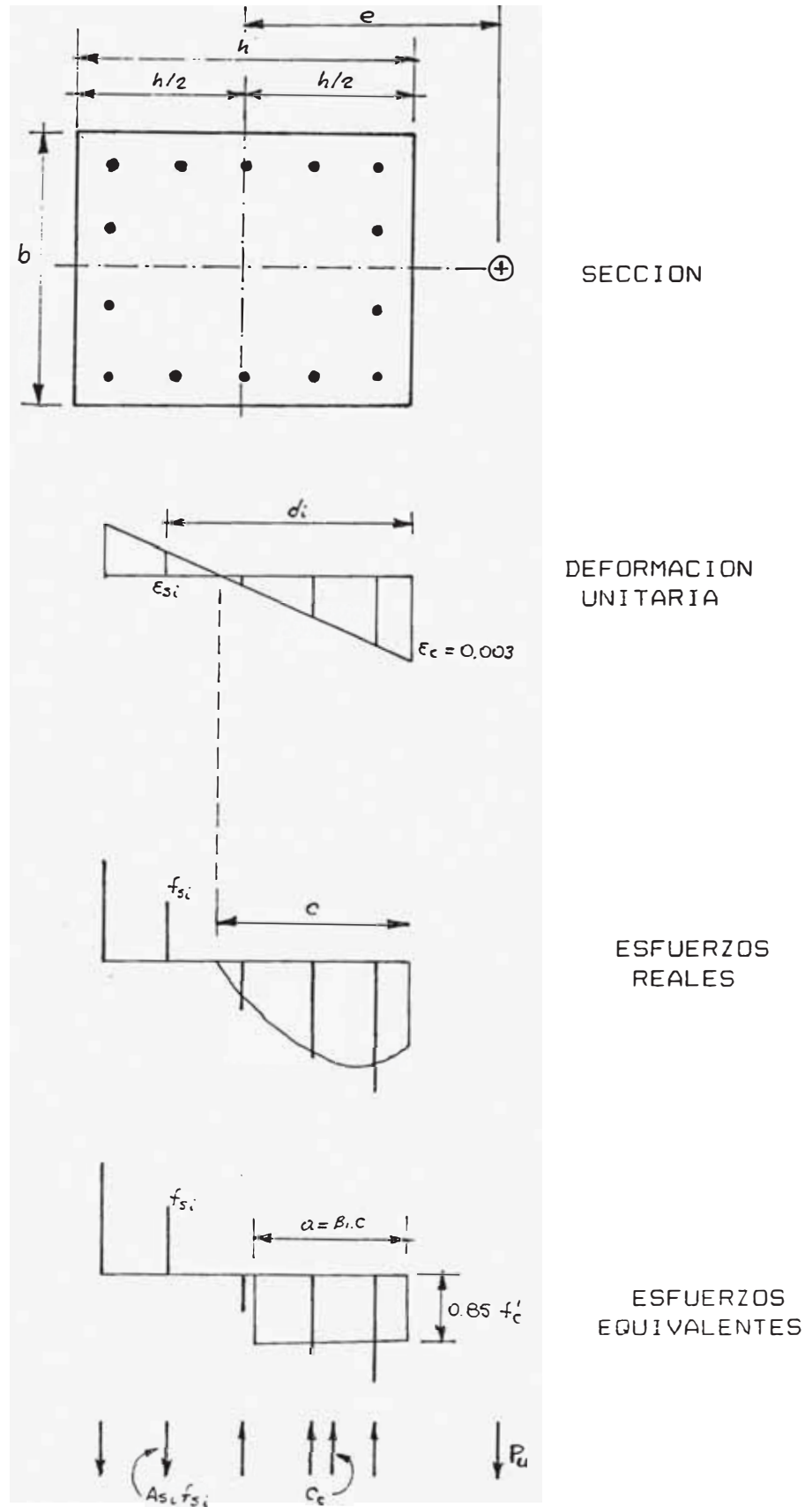


Figura 4.1 Sección de columna cargada excéntricamente con varillas en las cuatro caras a carga última.

$$\text{si: } \epsilon_{s_i} \geq \frac{f_y}{E_s} , \quad f_{s_i} = f_y$$

$$\text{ó si: } \frac{f_y}{E_s} > \epsilon_{s_i} > -\frac{f_y}{E_s} , \quad f_{s_i} = \epsilon_{s_i} \cdot E_s \quad (4.2)$$

$$\text{ó si: } \epsilon_{s_i} \leq -\frac{f_y}{E_s} , \quad f_{s_i} = -f_y$$

Entonces $f_{s_i} \cdot A_{s_i}$ da la fuerza en la varilla i , en que A_{s_i} es el área de ésta. Luego podemos escribir las ecuaciones de equilibrio para una sección con "n" varillas (usaremos $n=5$ para ilustrar mejor).

Como

Σ Fuerzas Verticales

$$P_u = 0.85 f'c \cdot a \cdot b + A_{s_1} \cdot f_{s_1} + A_{s_2} \cdot f_{s_2} + A_{s_3} \cdot f_{s_3} - A_{s_4} \cdot f_{s_4} - A_{s_5} \cdot f_{s_5}$$

Σ Momentos con respecto al centro de plástico

$$M_u = P_u \cdot e = 0.85 f'c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) + A_{s_1} \cdot f_{s_1} (h/2 - d_1) + A_{s_2} \cdot f_{s_2} (h/2 - d_2) - A_{s_4} \cdot f_{s_4} (h/2 - d_4) - A_{s_5} \cdot f_{s_5} (h/2 - d_5)$$

Con lo que podemos resumir en General :

$$P_u = 0.85 f'c \cdot a \cdot b + \sum_{i=1}^n f_{s_i} \cdot A_{s_i} \quad \dots (4.3)$$

$$M_u = P_u \cdot e = 0.85 f'c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) + \sum_{i=1}^n f_{s_i} \cdot A_{s_i} (h/2 - d_i) \quad \dots (4.4)$$

En las ecuaciones (4.3) y (4.4) se debe dar atención debido al signo del esfuerzo al sumar las fuerzas del acero a la sección.

4.2 ANALISIS DE LAS ECUACIONES Y ALGORITMOS USADOS EN EL DISEÑO DEL PROGRAMA DE DISEÑO DE COLUMNAS CON REFUERZO ASIMETRICO

4.2.1 CALCULO DEL ACERO EN LAS CARAS DE DISEÑO TENIENDO VARILLAS DE ACERO EN LAS CARAS LATERALES.

Considérese la sección de columna reforzada simétricamente mostrada en la fig. 4.2 en la carga última con varillas reforzadas en las cuatro caras.

Usando el factor de reducción de carga $\phi = 0.70$ para columnas estribadas.

Σ Fuerzas Verticales

$$P_u = \phi [0.85 f'_c \cdot a \cdot b + A_{s1} \cdot f_{s1} + A_{s2} \cdot f_{s2} + A_{s3} \cdot f_{s3} + \dots + A_{s_{n-1}} \cdot f_{s_{n-1}} + A_{sn} \cdot f_{sn} + A_s \cdot f_{s1} + A_s \cdot f_{sn}]$$

$$\text{Pero : } A_{s1} = A_{s2} = A_{s3} = \dots = A_{s_{n-1}} = A_{s2}$$

$$P_u = \phi [0.85 f'_c \cdot a \cdot b + A_{sL} \sum_{i=1}^n f_{si} + A_s \cdot (f_{s1} + f_{sn})] \quad \dots (4.5)$$

De (4.5)

$$A_s = \frac{P_u / \phi - 0.85 f'_c \cdot a \cdot b - A_{sL} \sum_{i=1}^n f_{si}}{f_{s1} + f_{sn}} \quad \dots (4.6)$$

Σ de momentos con respecto al centroide plástico ($d'' = h/2 - d'$ por su simetría)

$$M_u = P_u e = \phi [0.85 f'_c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) + A_{s1} \cdot f_{s1} (h/2 - d_1) + A_{s2} \cdot f_{s2} (h/2 - d_2) + A_{s3} \cdot f_{s3} (h/2 - d_3) + A_{s_{n-1}} \cdot f_{s_{n-1}} (d_{n-1} - h/2) + A_{sn} \cdot f_{sn} (d_n - h/2) + A_s \cdot f_{s1} (h/2 - d_1) + A_s \cdot f_{sn} (d_n - h/2)]$$

Ordenando la ecuación:

$$\begin{aligned} Mu = Pu e = \phi [& 0.85 f'c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) + As_1 \cdot fs_1 (h/2 - d_1) + \\ & As_2 \cdot fs_2 (h/2 - d_2) + As_3 \cdot fs_3 (h/2 - d_3) + As_4 (-fs_4) (h/2 - d_4) + \\ & As_5 (-fs_5) (h/2 - d_5) + As_1 \cdot fs_1 (h/2 - d_1) + As (-fs_n) (h/2 - d_n) \end{aligned}$$

$$\text{Pero: } As_1 = As_2 = As_3 = \dots = As_{n-1} = As_n = As_L$$

Luego:

$$\begin{aligned} Mu = Pu \cdot e = \phi [& 0.85 f'c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) + As_L \sum_{i=1}^n fs_i (h/2 - d_i) + \\ & As \cdot fs_1 (h/2 - d_1) + As fs_n (h/2 - d_n) \end{aligned} \quad (4.7)$$

De donde:

$$As = \frac{Mu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) - As_L \sum_{i=1}^n fs_i (h/2 - d_i)}{fs_1 (h/2 - d_1) + fs_n (h/2 - d_n)} \quad (4.8)$$

Iguando (4.6) = (4.8)

$$\begin{aligned} \frac{Pu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b - As_L \cdot \sum_{i=1}^n fs_i}{fs_1 + fs_n} = \\ = \frac{Mu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) - As_L \cdot \sum_{i=1}^n fs_i (h/2 - d_i)}{fs_1 (h/2 - d_1) + fs_n (h/2 - d_n)} \end{aligned}$$

$$[Mu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) -$$

$$As_L \cdot \sum_{i=1}^n fs_i (h/2 - d_i)] \cdot \left[\frac{fs_1 + fs_n}{fs_1 (h/2 - d_1) + fs_n (h/2 - d_n)} \right] =$$

$$= Pu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b - As_L \cdot \sum_{i=1}^n fs_i$$

Haciendo :

$$k = \left[\frac{f_{s_1} + f_{s_n}}{f_{s_1}(h/2-d_1) + f_{s_n}(h/2-d_n)} \right] \dots(4.9)$$

$$[Mu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b(h/2 - a/2) - A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i}(h/2-d_i)] k =$$

$$= Pu/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b - A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i}$$

$$[Mu/\phi \cdot k - 0.85 f'c \cdot a \cdot b(h/2 - a/2)k - A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i}(h/2-d_i)] k +$$

$$0.85 f'c \cdot a \cdot b + A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i} - Pu/\phi = 0$$

De donde :

$$Muk/\phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b[(h/2 - a/2)k - 1] - A_{sL}[k \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i}(h/2-d_i) - \sum_{i=1}^n f_{s_i}]$$

$$- Pu/\phi = 0 \quad \dots(4.10)$$

La ecuación (4.10) es la ecuación base de iteración, con la cual encontraremos el valor exacto de "a" con algún método de solución que en este caso usaré el de Regula-Falsi, por ser el que mejor se adapta al tipo de ecuación a resolver.

Una vez obtenido el valor de "a" pasamos a reemplazarla en la ecuación (4.8) en la cual encontraremos el valor de A_s , que será el acero necesario a usar en las posiciones indicadas en la fig.(4.2), para poder soportar las cargas P_u y M_u en esa dirección de análisis.

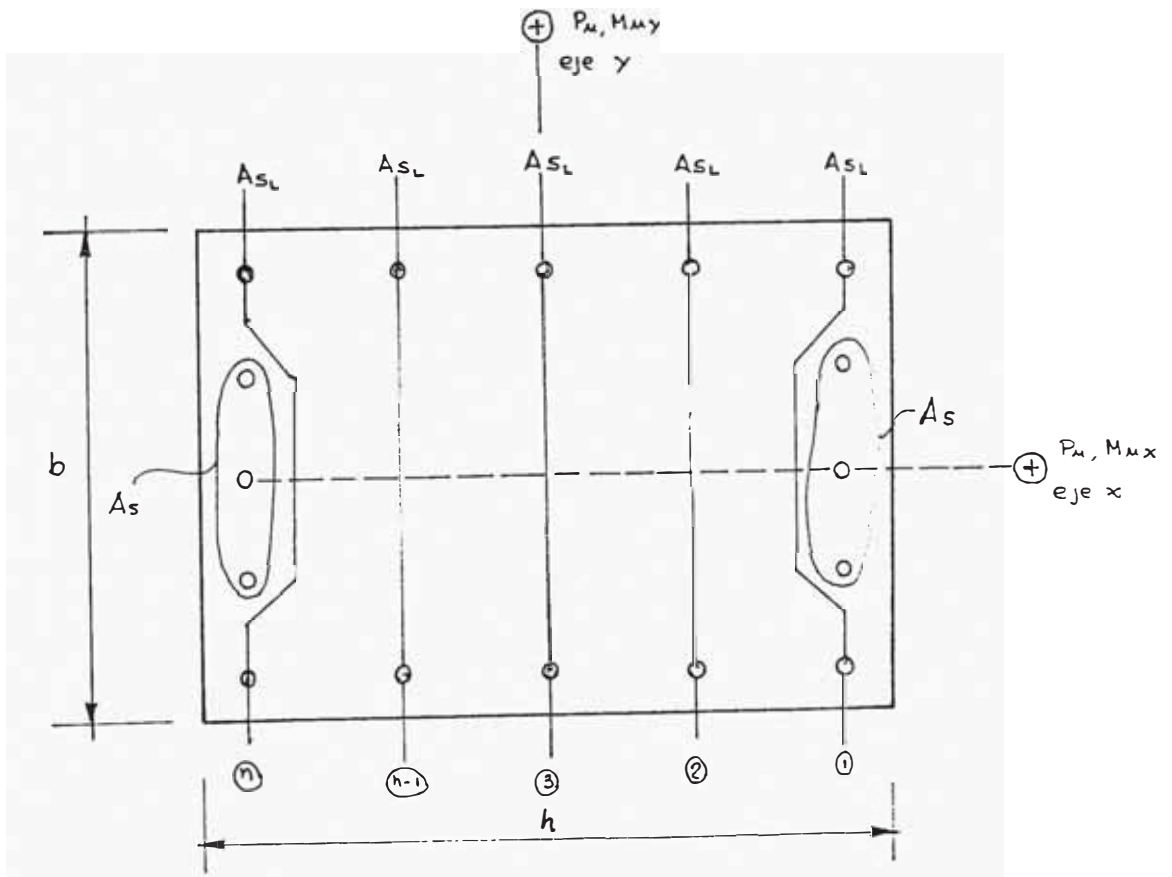


figura 4.2

4.2.2 CALCULO DE LOS MOMENTOS MAXIMOS RESISTENTES PARA LA CARGA PUNTUAL P_u CON LOS ACEROS FINALES ESTABLECIDOS.

Consideremos la fig. (4.3) con los aceros definitivos ya calculados.

Usando las ecuaciones anteriores (4.5) y (4.7)

$$P_u = \phi [0.85 f'c \cdot a \cdot b + A_{sL} \sum_{i=1}^n f_{s_i} + A_s \cdot (f_{s_1} + f_{s_n})] \quad (4.5)$$

$$M_u = \phi [0.85 f'c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) + A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i} (h/2 - d_i) + A_s \cdot f_{s_1} (h/2 - d_1) + A_s f_{s_n} (h/2 - d_n)] \quad (4.7)$$

De (4.5)

$$0.85 f'c \cdot a \cdot b + A_{sL} \sum_{i=1}^n f_{s_i} + A_s \cdot (f_{s_1} + f_{s_n}) - P_u/\phi = 0 \quad (4.11)$$

Poniendo a la ecuacion (4.11) en forma de función:

$$f(a) = 0.85 f'c \cdot a \cdot b + A_{sL} \sum_{i=1}^n f_{s_i} + A_s \cdot (f_{s_1} + f_{s_n}) - P_u/\phi = 0 \quad (4.12)$$

En la ecuación (4.12) mediante interacciones sucesivas encontramos el valor actuante de "a" (posición exacta del valor del rectángulo de concreto equivalente a compresión) Una vez obtenido el valor de "a" procedemos a reemplazar este valor y los valores de $A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i} (h/2 - d_i)$, f_{s_1} , f_{s_n} , etc correspondiente a este valor de "a" en la ecuación (4.7) y obtenemos el valor del momento máximo resistente de las columnas para una carga puntual actuante en la sección.

4.3 ELABORACION DEL PROGRAMA QUE DISEÑA LA COLUMNA CON REFUERZO SIMETRICO EN DOS CARAS

En la elaboración de este programa hemos seguido los siguientes pasos :

1) Definir las características geométricas y de resistencia de la sección y las direcciones "x" e "y" imaginarias. Esta columna estará sujeta a una carga puntual y a los momentos M_{ux} (en la dirección x) y M_{uy} (en la dirección y) como la indicada en la figura 4.3. Tener en cuenta de usar :

$$M_{ux} > M_{uy} .$$

2) Con la carga P_u y el momento M_{uy} , hacer un diseño simétrico en dos caras como en el capítulo II en la dirección "y". De esta forma encontraremos el acero A_{sx} . Tomamos un 80% de A_{sx} de diseño y calculamos el número de varillas necesarias para cubrir este valor, como la indicada en la figura 4.4.

3) Una vez tenido el acero en las caras paralelas en la dirección "x" pasemos al diseño del acero adicional en las otras caras pero teniendo en cuenta los aceros en las esquinas calculados en el paso 2) (fig 4.5).

4) El acero provisional en las caras paralelas en la dirección "y" se calcularán con lo explicado en el apartado 4.2, considerando el acero calculado y colocado en las caras paralelas a la dirección "x". (fig 4.6)

5) Una vez obtenida las varillas a usar en toda la columna se procederá a la verificación de la resistencia de la columna en la dirección "y" para ver si soporta las cargas P_u y Momento flector M_{uy} .

a) Tomaremos el número de varillas encontradas en el paso 4) (A_{sy}) y le añadimos 4 varillas más (una cada esquina) quedando estas varillas como lo indicado en la figura 4.7.

figura 4.3

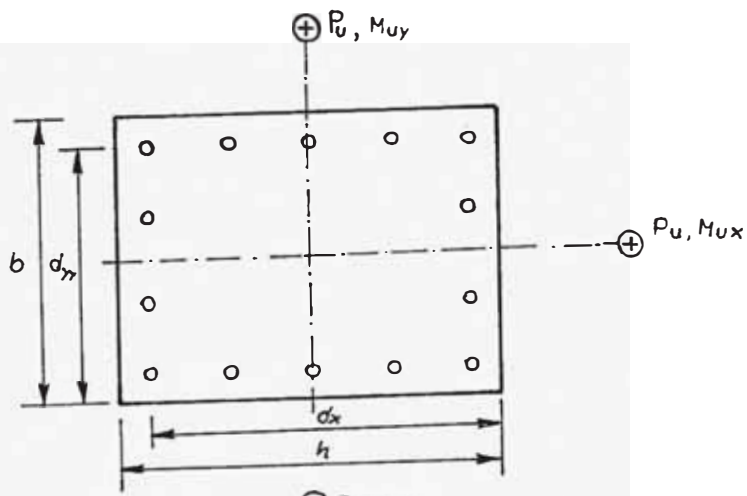


figura 4.4

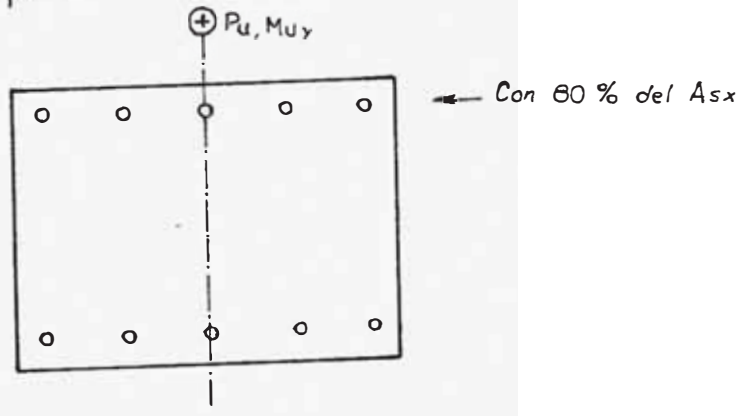


figura 4.5

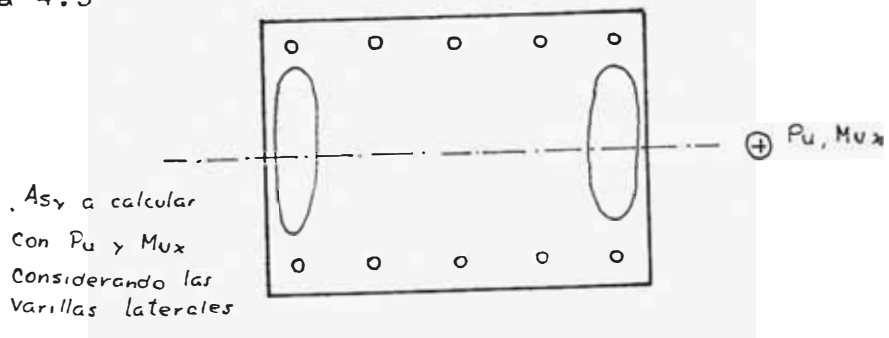


figura 4.6

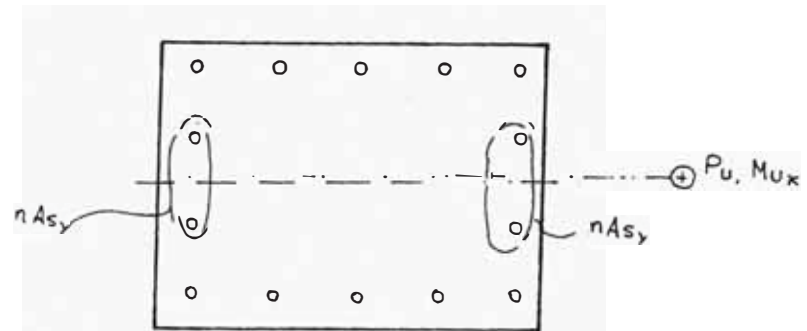
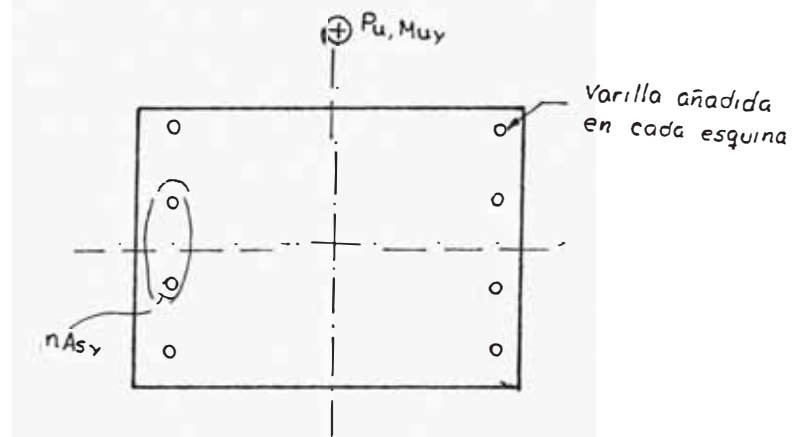


figura 4.7



- b) Calculamos el acero necesario (A_s), en las caras paralelas a la dirección "y" que es lo mismo que se hizo en los pasos 3) y 4) pero con la otra dirección. Este valor de A_s se hará con la carga P_u y Momentoflector M_{uy} .
- c) Este nuevo valor de A_s calculado se compara con el 0.80% A_{sx} calculado en el paso 2) y si $A_s < 0.8 A_{sx}$ entonces está conforme el diseño, pero sino se añadirá una varilla más en las caras paralelas a la dirección "x" con lo cual se volverá a una nueva verificación.
- 6) Una vez verificado y sin problemas, consideremos las varillas obtenidas como las definitivas para la sección. Como última comprobación calculamos los momentos flectores resistentes con los aceros obtenidos para la carga puntual actuante P_u en las dos direcciones "x" e "y" usando los pasos explicados en el apartado 4.2.2.

4.4 APLICACIONES Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.4.1 SOLUCION DE UN PROBLEMA HACIENDO USO DEL PROGRAMA

PROBLEMA

Diseñar la siguiente columna para las siguientes cargas

$$\begin{array}{ll}
 f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 & Pu = 250 \text{ tn} \\
 fy = 4200 \text{ kg/cm}^2 & Mux = 45 \text{ tn}\cdot\text{m} \\
 h = 50 \text{ cm} & Muy = 35 \text{ tn}\cdot\text{m} \\
 b = 40 \text{ cm} & \\
 dx = 44 \text{ cm} & \text{usar varillas de 1"} \\
 dy = 34 \text{ cm} &
 \end{array}$$

SOLUCION :

Diseño en la dirección "y" (En dos caras)

$$\begin{array}{ll}
 Mu = Muy = 35 \text{ tn}\cdot\text{m} = 3\,500\,000 \text{ kg}\cdot\text{cm} & h = 40 \text{ cm} \\
 Pu = 250 \text{ tn} = 250\,000 \text{ kg} & b = 50 \text{ cm} \\
 & d = 34 \text{ cm} \\
 & d' = 6 \text{ cm}
 \end{array}$$

Usando las ecuaciones

$$Pu = \phi [0.85 f'c \cdot a \cdot b + A's f's - As \cdot fs] \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 Mu = \phi [0.85 f'c \cdot a \cdot b' (h/2 - a/2) + A's \cdot f's (d - h/2) + \\
 As fs (d - h/2)] \quad \dots (2)
 \end{aligned}$$

$$k = \frac{f's - fs}{(f's + fs)(d - h/2)} \quad \dots (3)$$

$$f(a) = Muk/\phi - 0.85 f.c \cdot a \cdot b [(h/2 - a/2) Muk/\phi - 0.85 f.c \cdot a \cdot b [(h/2 - a/2) k - 1] - Pu/\phi = 0 \quad \dots (4)$$

$$fs = \frac{0.003(\beta \cdot d - a)}{a} Es = 6090 \frac{(\beta \cdot d - a)}{a} \quad \dots (5)$$

$$f's = 0.003 \frac{(a - \beta \cdot d')}{a} Es = 6090 \frac{(a - \beta \cdot d')}{a} \quad \dots (6)$$

$$As = \frac{Mu/\phi - 0.85 f.c \cdot a \cdot b [(h/2 - a/2)]}{(f's + fs)(d - h/2)} \quad \dots (7)$$

Reemplazando valores

$$fs = 6090 \frac{(78.9 - a)}{a}$$

$$f's = 6090 \frac{(2 - 5.1)}{a}$$

$$k = \frac{f's - fs}{(f's + fs)(14)}$$

$$f(a) = 3\,500\,000 \cdot k / 0.7 - 0.83 \cdot 280 \cdot a \cdot 50 [(40/2 - a/2)k - 1] - 250\,000 / 0.7$$

$$f(a) = 5000000 \cdot k - 11900 \cdot a \cdot [(20 - a/2)k - 1] - 357142.9$$

a (cm)	f(s) (kg/cm ²)	f's (kg/cm ²)	k (cm ⁻¹)	f(a)
20	2710	4537 (4200)	0.0150148	-78791
22	1910	4678 (4200)	0.0267704	-24567
23	1562	4739 (4200)	0.0326980	3976
22.86	1609	4731 (4200)	0.031858	-90

$$a = 22.86 \text{ cm}$$

Nota: los valores en paréntesis son los encontrados reduciendo los esfuerzos en 0.85 f'c

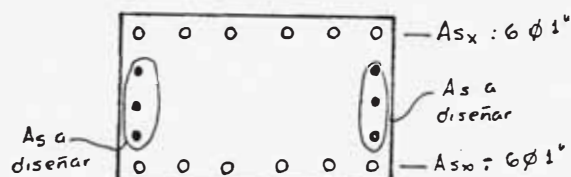
Reemplazado en (7)

$$A_s = \frac{3500000 / 0.7 - 0.81 \cdot 280 \cdot 27.86 \cdot 50 (40/2 - 22.86/2)}{(1609 + 4200) (34 - 40/2)}$$

$$A_s = 32.86 \text{ cm}^2$$

Usando el 80 % de A_s

Usaremos 6 ϕ 1" a cada lado



$$\begin{aligned} dx[1] &= 6.0 \text{ cm.} \\ dx[2] &= 13.6 \text{ cm.} \\ dx[3] &= 21.2 \text{ cm.} \\ dx[4] &= 28.8 \text{ cm.} \\ dx[5] &= 36.4 \text{ cm.} \\ dx[6] &= 44.0 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Diseño en la dirección x

Usaremos las fórmulas (4.5) y (4.7)

$$P_u = \phi [0.85 f'c \cdot a \cdot b + A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_s + A_s (f_{s1} + f_s)] \dots \dots \dots (4.5)$$

$$M_u = P_u \cdot e = \phi [0.85 f'c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) + A_{sL} \sum_{i=1}^n f_{s1} (h/2 - d_1) + A_s \cdot f_{s1} (h/2 - d_1) + A_s f_{sn} (h/2 - d_n)] \dots \dots \dots (4.7)$$

$$M_u / \phi - 0.85 f'c \cdot a \cdot b [(h/2 - a/2)k - 1] - A_{sL} [k \cdot \sum_{i=1}^n f_{s1} (h/2 - d_1) - \sum_{i=1}^n f_{s1}]$$

$$- P_u / \phi = 0 \dots \dots (4.10)$$

Iteraciones para Calcular el valor de α en la ecuacion (4.10)

α (cm)	$\alpha - \alpha_1$ (cm)	Σf_{s_1} (kg/cm ²)	$\Sigma f_{s_1}(h/2-d_1)$ (kg/cm)	$f_{s_1} + f_{s_n}$ (kg/cm ²)	$f_{s_1}(h/2-d_1) + f_{s_n}(h/2-d_n)$ (kg/cm)	$f(a)$
30	25.5	$f_{s_1} = 4872$ (4200) $f_{s_2} = 3329$ (3091) $f_{s_3} = 1786$ (1548) $f_{s_4} = 243$ (6) $f_{s_5} = -1295$ $f_{s_6} = -2842$ $\Sigma = 4704$	79800 35240 5884 -21 14811 53998 $\Sigma = 188711$	4 200 -2842 $\Sigma = 1358$	79800 53938 $\Sigma = 133798$	- 515133

$k = 0.01014963$

32	27.2	$f_{s_1} = 4948$ (4200) $f_{s_2} = 3502$ (3264) $f_{s_3} = 2055$ (1817) $f_{s_4} = 609$ (-1410) $f_{s_5} = -837$ $f_{s_6} = -2281$ $\Sigma = 6 531$	79800 37207 6906 -1410 9546 43391 $\Sigma = 175400$	4200 - 2784 $\Sigma = 1916$	79800 13391 $\Sigma = 123191$	-6099
----	------	---	---	---------------------------------------	---	-------

$k = 0.0155555$

32.26	27.42	$f_{s_1} = 4957$ (4200) $f_{s_2} = 3523$ (3285) $f_{s_3} = 2088$ (1850) $f_{s_4} = 653$ (415) $f_{s_5} = -782$ $f_{s_6} = -2217$ $\Sigma = 6751$	79800 37443 7029 -1577 8912 42115 $\Sigma = 173723$	4200 -2217 $\Sigma = 1983$	79800 42115 $\Sigma = 121915$	-86
-------	-------	---	---	--------------------------------------	---	-----

$k = 0.016269$

Por lo tanto $a=27.42$ será una raíz de la ecuación (4.10)

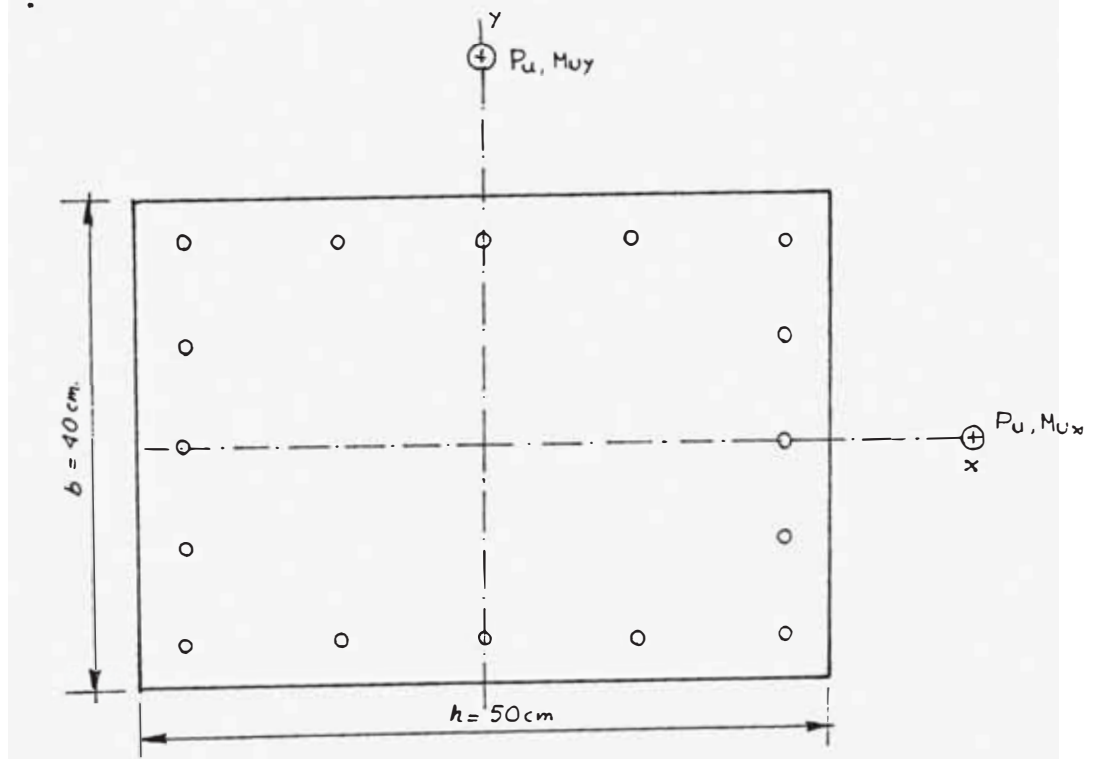
Reemplazando en la ecuación (4.8)

$$A_s = \frac{4500000/0.7 - 0.85 \times 280 \times 27.42 \times 40 \times (50/2 - 27.42/2) - 10 \times 173723}{121915}$$

$$A_s = 14.30 \text{ cm}^2$$

Usaremos: $3 \text{ } \phi \text{ 1" } \approx 15 \text{ cm}^2$

Por lo que la sección de la columna quedaria de la siguiente forma :



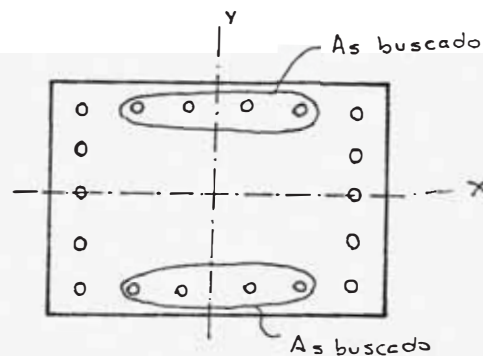
USAR : 18 $\phi \text{ 1"}$

SECCION DE LA COLUMNA

VERIFICACION

Siguiendo los mismos pasos que el anterior, el programa *column4C* también verifica, y los hace de un modo parecido a como diseño en la dirección "x".

Teniendo las varillas colocadas a las caras paralelas en la dirección y encontradas en la dirección anterior, calcularemos los restantes de las otras caras.



Calcularemos este valor de A_{sx} siguiendo el modelo de la dirección anterior y encontramos :

$$A_{sx} = 18.00 \text{ cm}^2$$

y nosotros en el diseño tomamos 4 ϕ 1" equivalente a 20 cm^2 . Por lo tanto es correcto el número total de varillas colocadas en las posiciones indicadas.

COMPROBACION DE MOMENTOS

Una vez terminado el diseño el programa calcula los momentos máximos resistentes de la sección con los aceros de diseño, cuando actúa una carga axial de $P_u = 250 \text{ tn}$.

De esta forma encontramos

En la dirección "x"

$$a = 27.37 \text{ cm.} \quad M_{ux \text{ max}} = 45.65 \text{ ton.m}$$

En la dirección "y"

$$a = 21.66 \text{ cm.} \quad M_{uy \text{ max}} = 36.40 \text{ ton.m}$$

que son valores, logicamente, mayores a los solicitados

$M_{ux} = 45 \text{ ton.m}$ y $M_{uy} = 35 \text{ ton.m}$

Nota : La forma de usar las formulas para los momentos los presentaremos en el Capitulo V.

4.4.2 DISEÑO EN LAS CUATRO CARAS USANDO LAS GRAFICAS DE DIAGRAMA DE INTERACCION SP- 7.

Con los mismos datos del problema anterior

$$g = \frac{(50 - 2 \times 6)}{50} \quad g = 0.76$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{45 \text{ ton.m}}{250 \text{ ton}} = 0.18 \text{ m}$$

$$k' = \frac{P_u}{f'c \cdot b \cdot h} = \frac{250000}{280 \times 4050} = 0.4464$$

$$k' \cdot \frac{e}{h} = 0.4464 \times \frac{18}{50} = 0.1607$$

Para $g = 0.7$ (figura 4.8)

$$\rho_{t.m} = 0.85$$

Para $g = 0.8$ (figura 4.9)

$$\rho_{t.m} = 0.72$$

Interpolando valores

$$\text{Para } g = 0.76 \quad \rho_{t.m} = 0.798$$

$$m = \frac{f_y}{\rho_{t.m} \cdot f'c} = \frac{4200}{0.85 \times 280} = 17.64$$

Luego

$$\rho_t = \frac{\rho_{t.m}}{m} = \frac{0.798}{17.64} = 0.0452$$

Entonces :

$$A_{st} = \rho_t \cdot b \cdot h = 0.0452 \times 40 \times 50$$

$$A_{st} = 90.4 \text{ cm}^2$$

Usando varillas de 1"

necesitaremos : 18 \varnothing 1"

que es lo mismo que se obtuvo usando el programa *colum4C*.

El programa *colum4C* establece el mismo valor que el hallado mediante las gráficas, solo que el programa da la posición exacta de estos dentro de la sección de la columna, siendo este análisis más real.

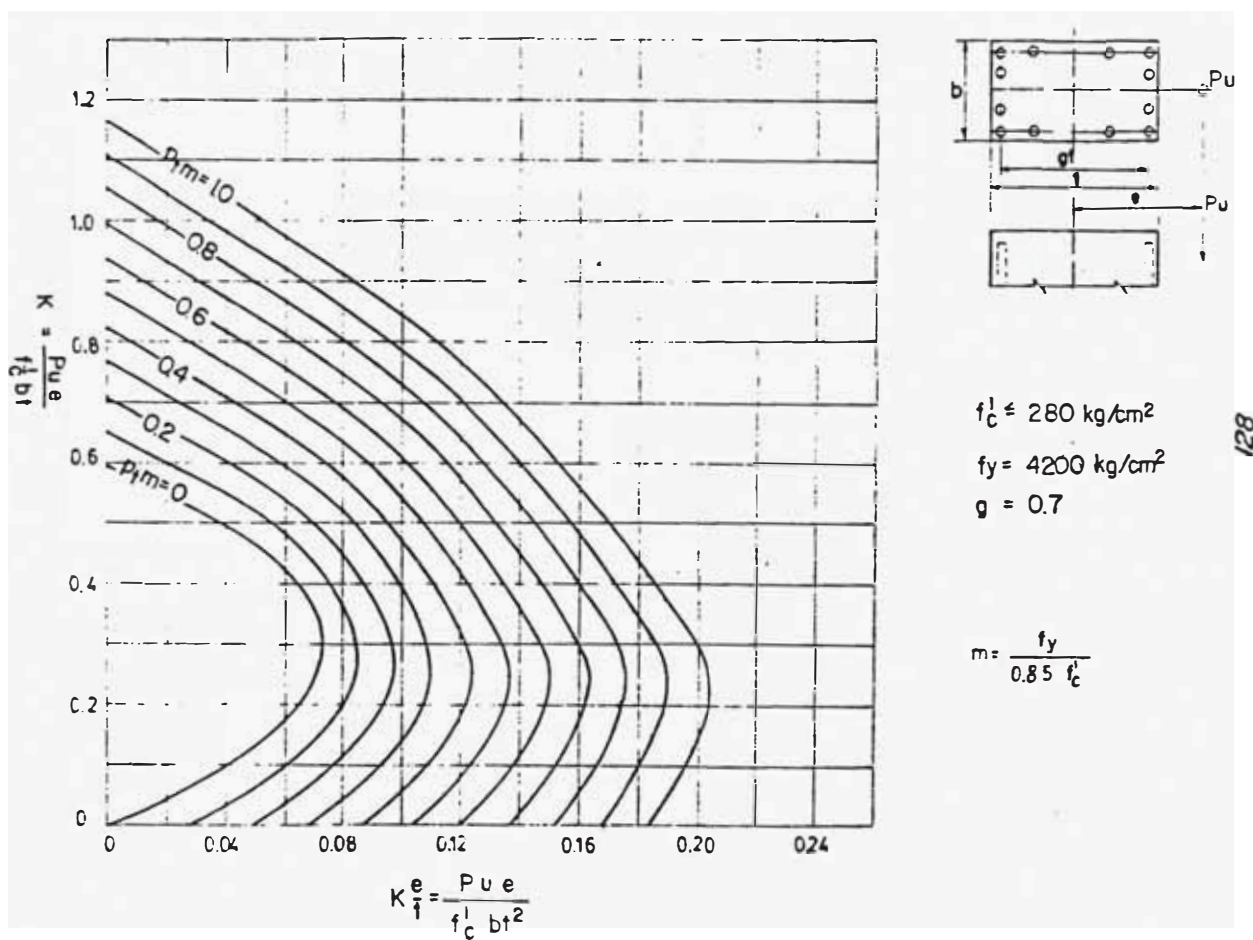


grafico 4.8

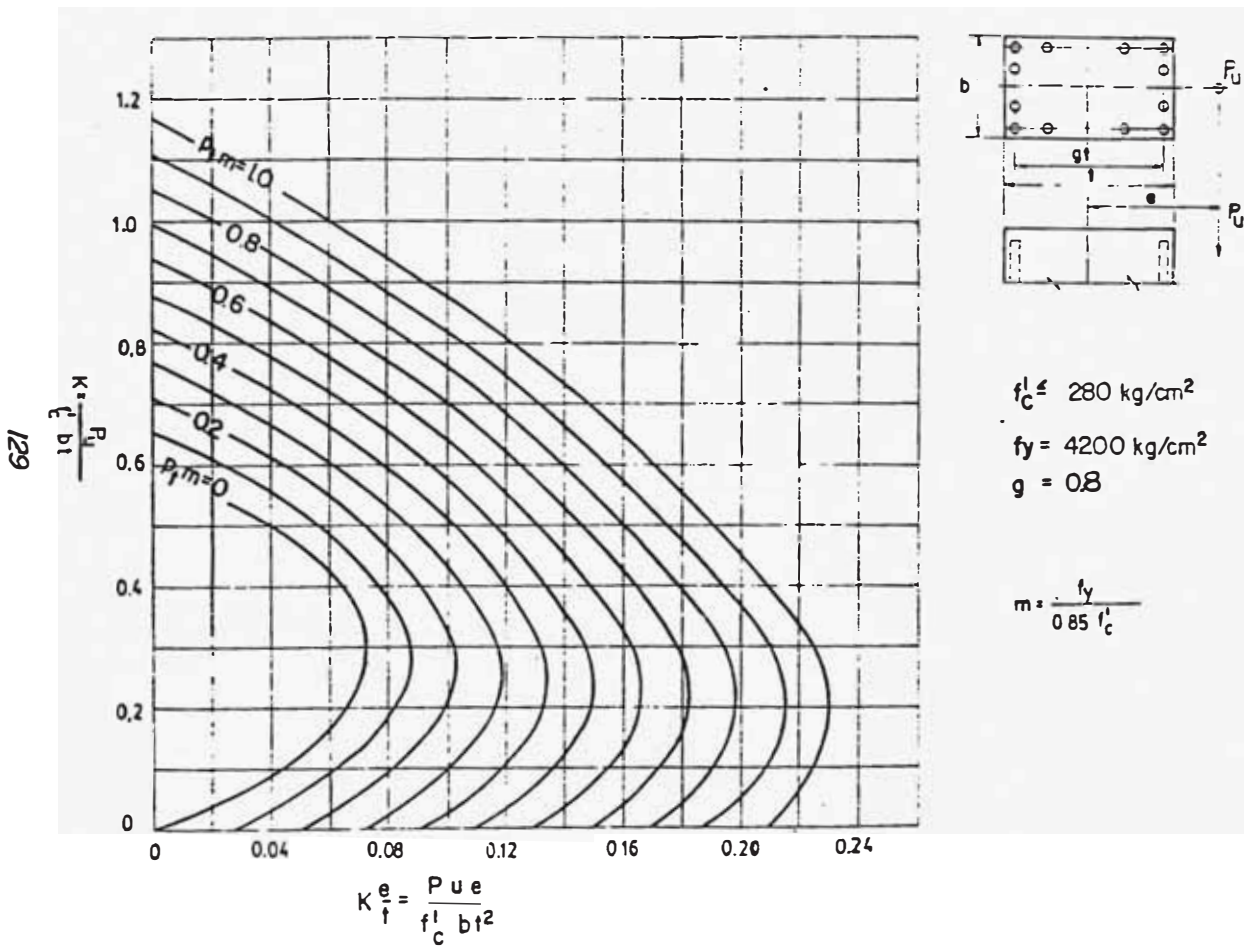


grafico 4.9

```

Program Diseno_De_Columnas_en_4C;
Uses
  Crt,Fic,Graph;
Const
  aprox=0.01;
  fi=0.7;      { factor de reduccion columnas estribadas }
Type
  Vector1=Array[1..20] of real;
Var
  fc,fy,hh,bb,gh,b,h,dd,
  Pu,Mu,Mux,Muy,Mumax,
  As,Asl,Asx,Asy,
  Asv,dv,
  a1,a2,B1,fs1,fs2,kk,
  ar,er,fr,gr,cr,dr,dxx,dyy,
  Factor,Spalibre,SpaVarillas,
  sumfs,sumfshd,Cuantia,cgr      : real;
  Tipo,nAst,nAs,nAsl,nAsx,nAsy  : Integer;
  dx,dy,fs :Vector1;
  cond,valor,ok,termina : Boolean;
  vari:string[10];
  Adonde:char;

Procedure InicializaGrafico;
Var
  disp,modo,CodError:integer;
Begin
  Disp:=0;
  InitGraph(disp,modo,'b:\');
  CodError:=GraphResult;
  if CodError<>grok
    then Begin
      writeln('ERROR : ',GraphErrorMsg(CodErrpr));
      Halt;
    End;
  if disp=1 then cgr:=2.10
    else cgr:=1.44;
End;

Procedure DetenerPantalla;
Var
  ch:char;
Begin
  ch:=readkey;
End;

Procedure LogoColumna;
var
  xm,ymax :word;
  ch:char;
Begin
  InicializaGrafico;

```

```

SetTextStyle(1,0,5);
SetTextJustify(1,0);
xm:=GetmaxX div 2;ymax:=GetmaxY;
OutTextXY(xm,ymax div 6,'DISEÑO DE');
OutTextXY(xm,2*ymax div 6,'COLUMNAS');
OutTextXY(xm,3*ymax div 6,'EN LAS');
OutTextXY(xm,4*ymax div 6,'4 CARAS');
SetTextStyle(1,0,3);
OutTextXY(xm,5*ymax div 6,'Por : Ing. JOSE RODRIGUEZ YAURI');
DetenerPantalla;
RestoreCrtMode;
End;

Procedure Datos;
Begin
  MarcoFondo;
  Titulo('CARACTERISTICAS DE LA SECCION');
  gotoxy(30,5);write('f',#39,'c (kg/cm',#253,') : ');read(fc);
  gotoxy(30,6);write('fy (kg/cm',#253,') : ');read(fy);
  gotoxy(30,7);write('h (cm) : ');read(hh);
  gotoxy(30,8);write('b (cm) : ');read(bb);
  gotoxy(30,9);write('dx (cm) : ');read(dxx);
  gotoxy(30,10);write('dy (cm) : ');read(dyy);
End;

Procedure Fuerzas;
Begin
  Titulo('FUERZAS Y MOMENTOS QUE ACTUAN EN LA COLUMNA');
  gotoxy(30,5);write('Pu (ton) : ');read(Pu);
  gotoxy(30,6);write('Mux (ton.m) : ');read(Mux);
  gotoxy(30,7);write('Muy (ton.m) : ');read(Muy);
End;

Procedure SeleccionAcero;
Begin
  Case Tipo of
    4: Begin asv:=1.27; dv:=1.27; vari:=' 1/2" ' end; { ø = 1/2" }
    5: Begin asv:=1.97; dv:=1.59; vari:=' 5/8" ' end; { ø = 5/8" }
    6: Begin asv:=2.85; dv:=1.91; vari:=' 3/4" ' end; { ø = 3/4" }
    7: Begin asv:=3.84; dv:=2.22; vari:=' 7/8" ' end; { ø = 7/8" }
    8: Begin asv:=5.00; dv:=2.54; vari:=' 1" ' end; { ø = 1" }
    9: Begin asv:=6.45; dv:=2.85; vari:=' 1 1/8" ' end; { ø = 1 1/8" }
   10: Begin asv:=8.19; dv:=3.17; vari:=' 1 1/4" ' end; { ø = 1 1/4" }
   11: Begin asv:=10.00; dv:=5.08; vari:=' 1 3/8" ' end; { ø = 1 3/8" }
  end;
End;

```

```

Procedure LeeTipoAcero;
Begin
  Titulo('TIPO DE ACERO A USAR (ø en pulgadas)');
  clrscr;HighVideo;
  gotoxy(30,2);writeln('NUMERO      DIAMETRO');
  LowVideo;
  gotoxy(30,4);writeln('  4          1/2"  ');
  gotoxy(30,5);writeln('  5          5/8"  ');
  gotoxy(30,6);writeln('  6          3/4"  ');
  gotoxy(30,7);writeln('*  7          7/8"  ');
  gotoxy(30,8);writeln('  8           1"   ');
  gotoxy(30,9);writeln('*  9        1 1/8"  ');
  gotoxy(30,10);writeln('* 10        1 1/4"  ');
  gotoxy(30,11);writeln(' 11        1 3/8"  ');
  HighVideo;
  gotoxy(27,14);write('NUMERO DE VARILLA A USAR : ');
  gotoxy(12,17);
  write('* Estas Varillas No se encuentran en el Mercado Peruano');
  ok:=false;
  window(55,19,79,19);
  Repeat
    clrscr;
    readln(tipo);
    if tipo in [4..11] then ok:=true
      else son(350,150);

  Until ok=true;
  window(2,6,79,23);
  Lowvideo;
  SeleccionAcero;
End;

Procedure InicializaValores;
Var
  Mmin:real;
Begin
  Pu:=Pu*1000;
  Mux:=Mux*1000000;Mmin:=0.1*hh*Pu;
  if Mux<Mmin then Mux:=Mmin;
  Muy:=Muy*1000000;Mmin:=0.1*bb*Pu;
  if Muy<Mmin then Muy:=Mmin;
  if fc<=280 then B1:=0.85
    else B1:=0.85-Int((fc-280)/70)*0.05;
  Mu:=Muy;      { para comenzar a analizar en la direccion Y }
  b:=hh;h:=bb;dd:=dyy;gh:=b-2*(b-dxx);
  dy[2]:=dyy;dy[1]:=h-dyy;
  a1:=hh/3;
  a2:=hh/4;
End;

```



```

Function CalFuncion1(a: real):real;
Var
  c:real;
Begin
  For i:=1 to 2 do
    Begin
      c:=a/B1;
      fs[i]:=6090*(c-dy[i])/c;
      if fs[i]>0 then fs[i]:=fs[i]-0.85*fc;
      if fs[i]>fy then fs[i]:=fy;
      if fs[i]<-fy then fs[i]:=-fy;
    end;
    kk:=(fs[1]+fs[2])/((fs[1]*(h/2-dy[1])+fs[2]*(h/2-dy[2])));
    CalFuncion1:=Mu/fi*kk-0.85*fc*a*b*((h/2-a/2)*kk-1)-Pu/fi;
  End;

Procedure RegulaFalsil;
Begin
  valor:=true;dr:=0;
  Repeat
    er:=CalFuncion1(a1);
    fr:=CalFuncion1(a2);
    cr:=a1-er*(a2-a1)/(fr-er);
    if abs(dr-cr)<=aprox
      then Begin
        ar:=cr;
        gr:=CalFuncion1(ar); {para que los valores finales de fs y
                              f's sean los correspondientes a ar }
        valor:=false
      end
    else Begin
      dr:=cr;gr:=CalFuncion1(cr);
      if er*gr<0 then a2:=cr
        else a1:=cr;
    end;
  Until valor=false;
end;

Procedure CalculaAcero1;
Begin
  Asx:=(Mu/fi-0.85*fc*ar*b*(h-ar)/2)/
    (fs[1]*(h/2-dy[1])+fs[2]*(h/2-dy[2]));
End;

Procedure DireccionX;
Begin
  Mu:=Mux;
  nAsl:=nAsx;Asl:=2*Asv; { las encontradas en la direccion anterior }
  b:=bb;h:=hh;dd:=dxx;gh:=b-2*(b-dyy);
End;

```

```
Procedure DireccionY;
```

```
Begin
  Mu:=Muy;
  nAsl:=nAsy;Asl:=2*Asv;
  b:=hh;h:=bb;dd:=dyy;gh:=b-2*(b-dxx);
End;
```

```
Procedure AumentaVarillaX;
```

```
Begin
  nAsx:=nAsx+1;
  gh:=hh-2*(hh-dxx);
  Spalibre:=(gh-(nAsx-1)*dv)/(nAsx-1);
  if Spalibre<2.54 then cond:=false
    else Begin
      ok:=true;
      SpaVarillas:=Spalibre+dv;
      dx[1]:=hh-dxx;
      For i:=2 to nAsx do
        dx[i]:=dx[1]+(i-1)*SpaVarillas;
      end;
End;
```

```
Procedure AumentaVarillaY;
```

```
Begin
  nAsy:=nAsy+1;
  gh:=bb-2*(bb-dyy);
  Spalibre:=(gh-(nAsy-1)*dv)/(nAsy-1);
  if Spalibre<2.54 then cond:=false
    else Begin
      ok:=true;
      SpaVarillas:=Spalibre+dv;
      dy[1]:=bb-dyy;
      For i:=2 to nAsy do
        dy[i]:=dy[1]+(i-1)*SpaVarillas;
      end;
End;
```

```
Procedure UsarMaximoVarillasX;
```

```
Begin
  gh:=hh-2*(hh-dxx);
  nAsx:=trunc(gh/(2.54+dv)+1);
  spalibre:=(gh-(nAsx-1)*dv)/(nAsx-1);
  SpaVarillas:=Spalibre+dv;
  dx[1]:=hh-dxx;
  For i:=2 to nAsx do
    dx[i]:=dx[1]+(i-1)*SpaVarillas;
End;
```

```
Procedure UsarMaximoVarillasY;
```

```
Begin
  gh:=bb-2*(bb-dyy);
  nAsy:=trunc(gh/(2.54+dv)+1);
```

```

    Spalibre:=(gh-(nAsy-1)*dv)/(nAsy-1);
    SpaVarillas:=Spalibre+dv;
    dy[1]:=bb-dyy;
    For i:=2 to nAsy do
        dy[i]:=dy[1]+(i-1)*SpaVarillas;
    End;

Procedure Numevarillas1;
Begin
    nAsx:=trunc(Asx/Asv)+1;
    if nAsx<2 then nAsx:=2;
    Spalibre:=(gh-(nAsx-1)*dv)/(nAsx-1);
    if Spalibre<2.54 then ok:=false
        else Begin
            ok:=true;
            SpaVarillas:=Spalibre+dv;
            dx[1]:=hh-dxx;
            For i:=2 to nAsx do
                dx[i]:=dx[1]+(i-1)*SpaVarillas;
            end;
        End;
End;

Procedure RegulaFalsi2(d:Vector1);
Function CalFuncion2(a:real):real;
Var
    c:real;
Begin
    Sumfs:=0;sumfshd:=0;
    c:=a/B1;
    For i:=1 to nAs1 do
        Begin
            fs[i]:=6090*(c-d[i])/c;
            if fs[i]>0 then fs[i]:=fs[i]-0.85*fc;
            if fs[i]>fy then fs[i]:=fy;
            if fs[i]<-fy then fs[i]:=-fy;
            sumfs:=sumfs+fs[i];
            sumfshd:=sumfshd+fs[i]*(h/2-d[i]);
        end;
    kk:=(fs[1]+fs[nAs1])/(fs[1]*(h/2-d[1])+fs[nAs1]*(h/2-d[nAs1]));
    CalFuncion2:= Mu*kk/fi-0.85*fc*a*b*((h/2-a/2)*kk-1)-
        As1*(kk*sumfshd-sumfs)-Pu/fi;
End;
Begin
    valor:=true;dr:=0;a1:=h/3;a2:=h/4;
    Repeat
        er:=CalFuncion2(a1);
        fr:=CalFuncion2(a2);
        cr:=a1-er*(a2-a1)/(fr-er);

```

```

if abs(dr-cr)<=aprox
then Begin
    ar:=cr;
    gr:=CalFuncion2(ar); {para que los valores finales de fs y f's
                          sean los correspondientes a ar }
    valor:=false
end
else Begin
    dr:=cr;gr:=CalFuncion2(cr);
    if er*gr<0 then a2:=cr
                else a1:=cr;
    end;
Until valor=false;
end;

Procedure CalculaAcero2(d:vector1);
Begin
    As:=(Mu/fi-0.85*fc*ar*b*(h-ar)/2-As1*Sumfshd)/(fs[1]*(h/2-d[1])+
            fs[nAs1]*(h/2-d[nAs1]));
End;

Procedure Numevarillas2;
Begin
    if Asy<0 then Asy:=0;
    nAsy:=(trunc(Asy/1.05/Asv)+1)+2;
    Spalibre:=(gh-(nAsy-1)*dv)/(nAsy-1);
    if Spalibre<2.54 then ok:=false
        else Begin
            ok:=true;
            SpaVarillas:=Spalibre+dv;
            dy[1]:=bb-dyy;
            For i:=2 to nAsy do
                dy[i]:=dy[1]+(i-1)*SpaVarillas;
            end;
End;

Procedure Verifica;
Begin
    DireccionY;
    RegulaFalsi2(dy);
    CalculaAcero2(dy);
    if (nAsx-2)*Asv>As then ok:=true
        else ok:=false;
End;

Function EvaluaMomento(d:Vector1;ch:char):real;
Var
    nAx,nAy:Integer;
Function CalFuncion(a:real):real;
Var
    c:real;
Begin
    Sumfs:=0;Sumfshd:=0;
    c:=a/B1;

```

```

For i:=1 to nAx do
  Begin
    fs[i]:=6090*(c-d[i])/c;
    if fs[i]>0 then fs[i]:=fs[i]-0.85*fc;
    if fs[i]>fy then fs[i]:=fy;
    if fs[i]<-fy then fs[i]:=-fy;
    sumfs:=sumfs+fs[i];
    sumfshd:=sumfshd+fs[i]*(h/2-d[i]);
  end;
CalFuncion:=0.85*fc*a*b+As1*sumfs+(nAy-2)*Asv*(fs[1]+fs[nAx])-Pu/fi;
End;
Procedure RegulaFalsi;
Begin
  valor:=true;dr:=0;a1:=h/3;a2:=h/4;
  Repeat
    er:=CalFuncion(a1);
    fr:=CalFuncion(a2);
    cr:=a1-er*(a2-a1)/(fr-er);
    if abs(dr-cr)<=aprox
      then Begin
        ar:=cr;
        gr:=CalFuncion(ar); {para que los valores finales de fs y
                             fs' sean los correspondientes a ar }
        valor:=false
      end
    else Begin
      dr:=cr;gr:=CalFuncion(cr);
      if er*gr<0 then a2:=cr
        else a1:=cr;
    end;
  Until valor=false;
end;
Begin      {main Proc. EvaluaMomentos}
  if ch='X' then Begin
    nAx:=nAsx;nAy:=nAsy;
    b:=bb;h:=hh;
  end
  else Begin
    nAx:=nAsy;nAy:=nAsx;
    b:=hh;h:=bb;
  end;
  RegulaFalsi;
  EvaluaMomento:=fi*(0.85*fc*ar*b*(h/2-ar/2)+As1*sumfshd+(nAy-2)*Asv*
    (fs[1]*(h/2-d[1])+fs[nAx]*(h/2-d[nAx])))/100000;
End;

```

```

Procedure Nota;
Begin
  Titulo('ERROR !!!');
  gotoxy(1,5);
  writeln('          NO SE PUEDE USAR ESTE TIPO DE VARILLA');
  writeln('          EN ESTA COLUMNA, PORQUE SE NECESITAN');
  writeln('          UN ALTO NUMERO DE ELLAS, QUE NO ENTRAN');
  writeln('          EN LAS DIMENSIONES QUE SE TIENEN.');
```

USAR UN TIPO DE VARILLA DE MAYOR DIAMETRO');

```

  gotoxy(1,10);HighVideo;
  writeln('
  LowVideo;
  gotoxy(25,16);writeln('Presione Enter Para Continuar');
  DetenerPantalla;
End;
```

```

Procedure Imprime;
Begin
  nAst:=(nAsx+nAsy-2)*2;
  Cuantia:=nAst*Asv/bb/hh*100;    {En Porcentaje}
  Titulo('RESULTADOS');
  HighVideo;
  gotoxy(33,8);write('USAR : ',nAst,' ø',vari);
  gotoxy(32,10);write('Cuantia = ',Cuantia:5:2,' %');
```

DetenerPantalla;

```

  LowVideo;
  cond:=false;
  termina:=true;
End;
```

```

Procedure ImprimeMomentosMaximos;
Begin;
  MarcoFondo;
  Titulo('MOMENTOS MAXIMOS');
  gotoxy(29,5);write('Momentos Maximos para');
  HighVideo;gotoxy(32,6);write('Pu=',Pu/1000:8:2,' ton');
```

LowVideo;

```

  gotoxy(27,7);write('con los Aceros Calculados');
  HighVideo;
  gotoxy(29,9);writeln('Mux max=',EvaluaMomento(dx,'X'):7:2,' ton.m');
```

gotoxy(29,10);writeln('Muy max=',EvaluaMomento(dy,'Y'):7:2,' ton.m');

```

  LowVideo;
  DetenerPantalla;
End;
```

```

Procedure Analisis;
Begin
  Repeat
    termina:=false;
    Cond:=true;
    Asx:=0.8*Asx;
```

```

NumeVarillas1;
if ok=true
    then Repeat
        DireccionX;
        RegulaFalsi2(dx);
        CalculaAcero2(dx);
        Asy:=As;
        NumeVarillas2;
        if ok=true
            then Begin
                Verifica;
                if ok=true
                    then Imprime
                    else AumentaVarillaX;
                end
            else Begin
                UsarMaximoVarillasY;
                AumentaVarillaX;
            end;
        Until Cond=false
    else Begin
        UsarMaximoVarillasX;
        DireccionX;
        RegulaFalsi2(dx);
        CalculaAcero2(dx);
        Asy:=As;
        NumeVarillas2;
        if ok=true then Repeat
            Verifica;
            if ok=true
                then Imprime
                else AumentaVarillaY;
            Until Cond=False
        else Cond:=false;
    end;
if termina=false then begin
    Nota;
    LeeTipoACero;
end;

Until termina=true;
End;

Procedure EsperaParaIr;
Var
    ch:char;
Begin
    Titulo('MENU');
    HighVideo;
    gotoxy(36,5);write('PRESIONE');
    LowVideo;
    gotoxy(27,7);write('(      ) Para Nuevos Datos');
    gotoxy(27,8);write('<      > Para Nuevas Carqas');

```

```

gotoxy(27,9);write(' <      > Para Terminar');
HighVideo;
gotoxy(28,7);write(' D ');
gotoxy(28,8);write('ENTER');
gotoxy(28,9);write(' ESC ');
LowVideo;
ok:=false;
Repeat
  ch:=upcase(readkey);
  if ch=#0 then ch:=readkey;
  if ch in ['D',#13,#27] then Begin ok:=true;Adonde:=ch end
                                else son(350,100);
Until ok=true;
End;

Procedure FlechaIzq(xg,yg :word);
Begin
  line(xg+1,yg,xg+5,yg-2);
  line(xg+1,yg,xg+5,yg+2);
  line(xg+5,yg-2,xg+5,yg+2);
end;

Procedure FlechaDer(xg,yg :word);
Begin
  line(xg-1,yg,xg-5,yg-2);
  line(xg-1,yg,xg-5,yg+2);
  line(xg-5,yg-2,xg-5,yg+2);
end;

Procedure FlechaArr(xg,yg :word);
Begin
  line(xg,yg+1,xg-2,yg+5);
  line(xg,yg+1,xg+2,yg+5);
  line(xg-2,yg+5,xg+2,yg+5);
End;

Procedure FlechaAba(xg,yg :word);
Begin
  line(xg,yg-1,xg-2,yg-5);
  line(xg,yg-1,xg+2,yg-5);
  line(xg-2,yg-5,xg+2,yg-5);
End;

Procedure GraficaSeccion;
Var
  xm,ym,x,y,x0,y0,x1,y1,x2,y2,hq,bg,dxg,dyg :Word;
  kx,ky :real;
  ch:char;
  strh,strb,strnAst :string[30];
Begin
  SetGraphMode(GetGraphMode);
  xm:=GetmaxX div 2;ym:=GetmaxY div 2;
  SetTextStyle(1,0,4);
  SetTextJustify(1,0);

```



```

OutTextXY(xm,ym div 4,'SECCION DE LA COLUMNA');
str(nAst:3,strnAst);
SetTextStyle(1,0,3);
strnAst:='Usar : '+strnAst+' varillas de '+vari;
OutTextXY(xm,2*ym-ym div 14,strnAst);
if (xm/hh) < (ym/h) then Begin
    kx:=3/2*xm/hh;
    ky:=3/2*xm/hh/cgr
end
else Begin
    kx:=3/2*ym/bb;
    ky:=3/2*ym/bb/cgr
end;
hg:=trunc(kx*hh);bg:=trunc(ky*bb);
dxg:=trunc(kx*dxx);dyg:=trunc(ky*dyy);
x0:=xm-(hg div 2);y0:=ym-(bg div 2);
setLineStyle(0,0,thickwidth);
Rectangle(x0,y0,x0+hg,y0+bg);
SetLineStyle(0,0,NormWidth);
y1:=y0+(bg-dyg);y2:=y0+bg-(bg-dyg);
For i:=1 to nAsx do
    Begin
        x:=x0+hg-trunc(dx[i]*kx);
        circle(x,y1,5);circle(x,y1,4);
        circle(x,y2,5);circle(x,y2,4);
    end;
x1:=x0+(hg-dxg);x2:=x0+hg-(hg-dxg);
For i:=2 to (nAsy-1) do
    Begin
        y:=y0+trunc(dy[i]*ky);
        circle(x1,y,5);circle(x1,y,4);
        circle(x2,y,5);circle(x2,y,4);
    end;
y:=y0+bg+ym div 7;
line(x0,y+10,x0,y-10);
line(x0+hg,y+10,x0+hg,y-10);
line(x0,y,x0+hg,y);
FlechaIzq(x0,y);
FlechaDer(x0+hg,y);
str(hh:4:0,strh);
strh:='h='+strh+' cm';
SetTextStyle(0,0,1);
SetTextJustify(1,0);
OutTextXY(xm,y-4,strh);
x:=x0-xm div 12;
line(x-10,y0,x+10,y0);
line(x-10,y0+bg,x+10,y0+bg);
line(x,y0,x,y0+bg);
FlechaArr(x,y0);
FlechaAba(x,y0+bg);
str(bb:4:0,strb);

```

```
    strb:='b'+strb+' cm';
    SetTextStyle(0,1,1);
    SetTextJustify(0,1);
    OutTextXY(x-4,ym,strb);
    DetenerPantalla;
    RestoreCrtMode;
End;

Begin      (* main Program *)
  LogoTipo;
  LogoColumna;
  Datos;
  Repeat
    Fuerzas;
    LeeTipoAcero;
    InicializaValores;
    if Muy>0 then Begin
      RegulaFalsi1;
      CalculaAcero1;
    end
    else nAsx:=2;
  Analisis;
  GraficaSeccion;
  ImprimeMomentosMaximos;
  EsperaParaIr;
  if Adonde='D' then Datos;
Until Adonde=#27;
End.
```

CAPITULO V

5.0 DIAGRAMA DE INTERACCION DE COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO EN LAS CUATRO CARAS.

5.1 ANALISIS DE LA INFORMACION TEORICA Y MATEMATICA EN EL DISEÑO DEL DIAGRAMA DE INTERACCION PARA COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO EN LAS CUATRO CARAS.

5.1.1 INTRODUCCION

La mayor forma de ilustrar las combinaciones de P_u y M_u que provocan la falla de una sección dada de columna es mediante un diagrama de interacción. La figura 5.1 muestra un diagrama de este tipo para una sección con refuerzo en las cuatro caras. Cualquier combinación de carga y Momento que de un punto en AB provoca una falla de compresión, cualquier combinación en BC provoca una falla o tensión, en que la cedencia del acero de tensión precede al aplastamiento del concreto comprimido. En B ocurre una falla balanceada.

A diferencia del Diagrama de Interacción para columnas con refuerzo en las cuatro caras no presentará una sola discontinuidad notoria en el punto de falla balanceada; en vez de ello, se obtiene un diagrama más curvo debido a que no todo el acero de tensión alcanza la resistencia de cedencia al mismo tiempo (fig. 5.1)

5.1.2 GENERALIDADES

Cuando se tiene el diseño final de una columna con la cantidad de varillas y posiciones de estas, el diseñador desea saber las **Combinaciones de Carga (Pu) y Momento (Mu)** que soporta la columna para una posición dada del Diagrama de Interacción y este es el fin que se le dió al programa elaborado en este capítulo.

Dadas las características de la sección, el número de varillas a usar y la posición de estos se puede calcular con este programa lo siguiente.

- a) Teniendo el valor de la carga axial actuante se puede calcular el Momento flector que resiste la sección.
- b) Teniendo el valor del momento flector actuante se puede calcular los dos valores correspondientes a las cargas axiales que soporta la sección del diagrama de interacción. Del diagrama de interacción de la fig. 5.1 podemos ver que existen dos valores Pu para un mismo momento flector. Uno de ellos se presenta cuando la falla es a compresión y el otro cuando la falla es a tracción.

5.2 ANALISIS DE LAS ECUACIONES Y ALGORITMOS USADOS EN LA ELABORACION DEL PROGRAMA DE DIAGRAMA DE INTERACCION PARA COLUMNAS CON REFUERZO

5.2.1 DADO EL VALOR DE LA CARGA AXIAL ACTUANTE SE PUEDE CALCULAR EL MOMENTO FLECTOR QUE RESISTE LA SECCION

Considérese la sección de columna de la figura 5.2 con la disposición de las varillas indicadas.

Usando las ecuaciones (4.5) y (4.7) desarrolladas en el Capítulo IV

$$P_u = \phi [0.85 f'_c \cdot a \cdot b + A_{sL} \sum_{i=1}^n f_{s_i} + A_s \cdot (f_{s_1} + f_{s_n})] \dots (5.1)$$

$$M_u = \phi [0.85 f'_c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) + A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i} (h/2 - d_i) + A_s \cdot f_{s_1} (h/2 - d_1) + A_s f_{s_n} (h/2 - d_n)] \dots (5.2)$$

De (5.1)

$$0.85 f'_c \cdot a \cdot b + A_{sL} \sum_{i=1}^n f_{s_i} + A_s \cdot (f_{s_1} + f_{s_n}) - P_u / \phi = 0 \dots (5.3)$$

Poniendo a la ecuación (4.11) en forma de función:

$$f(a) = 0.85 f'_c \cdot a \cdot b + A_{sL} \sum_{i=1}^n f_{s_i} + A_s \cdot (f_{s_1} + f_{s_n}) - P_u / \phi = 0 \quad (5.4)$$

En la ecuación (5.4) mediante interacciones sucesivas encontraremos el valor actuante de "a" (posición exacta del valor del rectángulo de concreto equivalente a compresión). Una vez obtenido el valor de "a" procedemos a reemplazar este valor y los valores de

$$A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i} (h/2 - d_i), f_{s_1}, f_{s_n}, \text{ etc,}$$

correspondiente a este valor de "a" en la ecuación (5.2) y obtenemos el valor del Momento Máximo resistente de la columna para una carga puntual P_u actuante en la sección.

5.2.2 DADO EL VALOR DEL MOMENTO FLECTOR ACTUANTE SE CALCULARA EL VALOR CORRESPONDIENTE A LA CARGA AXIAL QUE SOPORTA LA SECCION.

Considérese la sección de columna de la figura 5.2 con las disposiciones de las varillas indicadas.

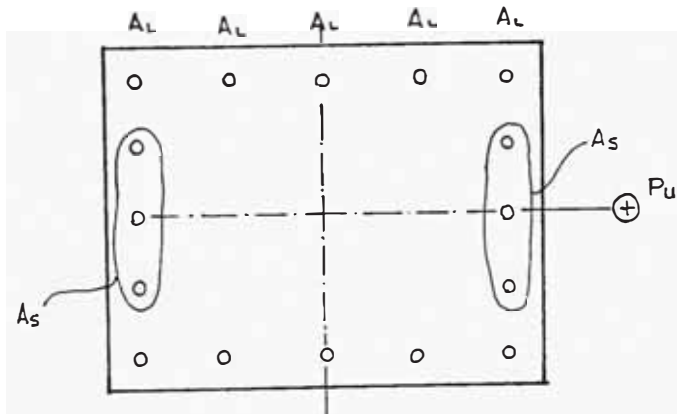


figura 5.2

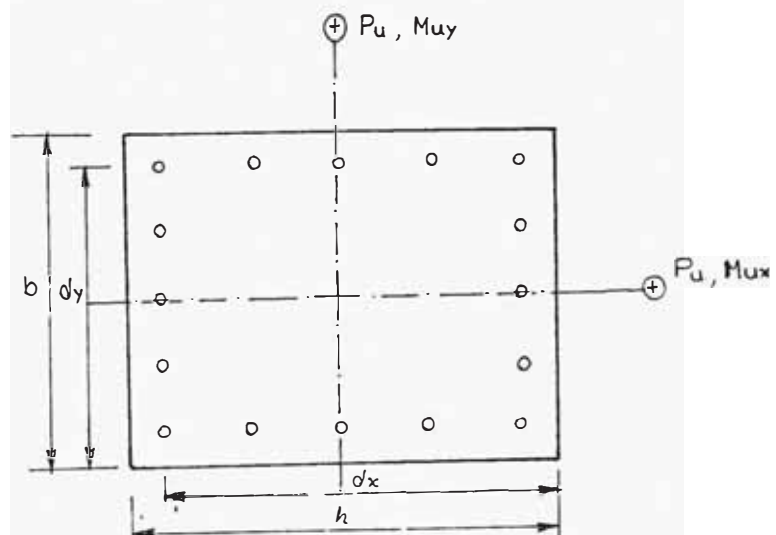


figura 5.3

Usando las ecuaciones (5.1) y (5.2)

$$P_u = \phi [0.85 f'c \cdot a \cdot b + A_{sL} \sum_{i=1}^n f_{s_i} + A_s \cdot (f_{s_1} + f_{s_n})] \dots (5.1)$$

$$M_u = \phi [0.85 f'c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) + A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i} (h/2 - d_i) + A_s \cdot f_{s_1} (h/2 - d_1) + A_s f_{s_n} (h/2 - d_n)] \dots (5.2)$$

De (5.2)

$$0.85 f'c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) + A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i} (h/2 - d_i) + A_s \cdot f_{s_1} (h/2 - d_1) + A_s f_{s_n} (h/2 - d_n)] - M_u / \phi = 0 \dots (5.5)$$

Poniendo la ecuación (5.5) en forma de función:

$$f(a) = 0.85 f'c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) + A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i} (h/2 - d_i) + A_s \cdot f_{s_1} (h/2 - d_1) + A_s f_{s_n} (h/2 - d_n)] - M_u / \phi \dots (5.6)$$

En la ecuación (5.6) mediante iteraciones sucesivas encontraremos el valor actuante de "a" (posición exacta del valor del rectángulo de concreto equivalente a compresión)

Se debe tener en cuenta que la ecuación (5.6) es una ecuación cuadrática y por lo tanto tendrá dos raíces validas. Una de las raíces será mayor del valor de "a balanceado" y en este caso se produce una falla a tracción.

Una vez encontrados los valores de "a" pasamos a reemplazarlos en la ecuación (5.1) con lo cual encontraremos los valores de P_{ucom} y P_{utrae} correspondiente al Momento Flector M_u actuante.

5.3 EVALUACION DEL PROGRAMA DE DIAGRAMA DE INTERACCION DE COLUMNAS CON REFUERZO SIMETRICO EN LAS CUATRO CARAS.

En la evaluación de este programa se sigue los siguientes pasos:

1) Definir las características geométricas y de resistencia de la sección. Colocarle el total de varillas y la posición de las varillas y la posición de estos en las dos direcciones. (fig. 5.3)

2) Definir la dirección a analizar "x" o "y".

3) Definir si dado P_u actuante hallar el M_u resistente o viceversa

a) Caso 1: Dado P_u actuante se desea hallar el M_u resistente. Para esto se hará uso de las ecuaciones y proceso desarrollados en el apartado 5.2.1.

b) Caso 2: Dado M_u actuante se desea hallar el P_u resistente. Para esto se hará uso de las ecuaciones, proceso desarrollados en el apartado 5.2.2.

4) Cambiar de dirección o analizar y hacer el paso 3) con sus consideraciones.

5.4 APLICACIONES Y DISCUSION DE RESULTADOS

PROBLEMA :

Calcular el máximo momento flector que resiste la sección de concreto diseñada en el apartado 4.4.1

SOLUCION :

Calcularemos el máximo momento flector que resiste la columna en la dirección "x".

Las características de la sección son :

Usar 18 ϕ de 1"

$h = 50$ cm

$b = 40$ cm

$dx = 44$ cm

$dy = 34$ cm

$dx[1] = 6.0$ cm.

$dx[2] = 13.6$ cm.

$dx[3] = 21.2$ cm.

$dx[4] = 28.8$ cm.

$dx[5] = 36.4$ cm.

$dx[6] = 44.0$ cm.

Usando las ecuaciones de compatibilidad :

$$P_u = \phi [0.85 f'_c \cdot a \cdot b + A_{sL} \sum_{i=1}^n f_{s_i} + A_s \cdot (f_{s_1} + f_{s_n})] \dots (5.1)$$

$$M_u = \phi [0.85 f'_c \cdot a \cdot b (h/2 - a/2) + A_{sL} \cdot \sum_{i=1}^n f_{s_i} (h/2 - d_i) + A_s \cdot f_{s_1} (h/2 - d_1) + A_s f_{s_n} (h/2 - d_n)] \dots (5.2)$$

De (5.1)

$$0.85 f'_c \cdot a \cdot b + A_{sL} \sum_{i=1}^n f_{s_i} + A_s \cdot (f_{s_1} + f_{s_n}) - P_u / \phi = 0 \dots (5.3)$$

De la ecuación (5.3) mediante iteraciones sucesivas encontraremos el valor de "a".

c (cm)	a=cβ ₁ (cm)	Σf _{s_i} (kg/cm ²)	Σf _{s_i} (h/2-d _i) (kg/cm)	f(a)
30	25.5	f _{s₁} = 4872 (4200) f _{s₂} = 3329 (3091) f _{s₃} = 1786 (1548) f _{s₄} = 243 (6) f _{s₅} =-1295 f _{s₆} =-2842 Σ= 4704	79800 35240 5884 -21 14811 53998 Σ=188711	-39833
32	27.2	f _{s₁} = 4948 (4200) f _{s₂} = 3502 (3264) f _{s₃} = 2055 (1817) f _{s₄} = 609 (371) f _{s₅} = -837 f _{s₆} =-2284 Σ= 6531	79800 37207 6906 -1410 9546 43391 Σ=175440	-2995
32.2	27.4	f _{s₁} = 4955 (4200) f _{s₂} = 3518 (3280) f _{s₃} = 2080 (1845) f _{s₄} = 643 (405) f _{s₅} = -794 f _{s₆} =-2232 Σ= 6701	79800 37390 7001 -1539 9056 42403 Σ=174111	106

Luego a= 21.37 cm sera la raiz de la ecuación (5.3)

Reemplazando valores en la ecuación (5.2) tendremos

$$Mu = 4565346 \text{ kg.cm}$$

$$Mu = 45.65 \text{ ton.m}$$

Que sera el valor máximo que resiste la sección de columna con 18 ∅ de 1" cuando actua una carga axial de 250 ton.

Nota : Tambien probar con el ejemplo de libro de Park and Paulay, mencionado en la bibliografía de este libro, en las paginas 150 a 153 en donde al momento de introducir la carga o el momento se le debe reducir multiplicandole por 0.7 ya que en este ejemplo no se uso factor de reducción.

```

Program Diagrama_de_Interaccion;
Uses
  Crt,Fic,Graph;
Const
  aprox=0.01;
  fi=0.7;      { factor de reduccion columnas estribadas }
Type
  Vector1=Array[1..20] of real;
Var
  fc,fy,hh,bb,gh,b,h,
  Pu,Mu,Mux,Muy,Mumax,
  Asl,Asv,dv,cuantia,
  a1,a2,ab,B1,fs1,fs2,kk,
  ar,er,fr,gr,cr,dr,dxx,dyy,
  SpaVarillas,SpaLibre,
  sumfs,sumfshd,cgr   : real;
  Tipo,nAst,nAs,nAsx,nAsy  : Integer;
  dx,dy,fs :Vector1;
  cond,valor,ok : Boolean;
  caso,direc,adonde:char;
  vari,strcaso,strmse,strh,strb,strmu1,strmu2:string[50];

Procedure InicializaGrafico;
Var
  disp,modo,CodError:integer;
Begin
  Disp:=0;
  InitGraph(disp,modo,'a:\');
  CodError:=GraphResult;
  if CodError<>grok
    then Begin
      writeln('ERROR : ',GraphErrorMsg(CodError));
      Halt;
    End;
  if disp=1 then cgr:=2.10 else cgr:=1.44;
End;

Procedure CualquierTecla;
Var
  ch:char;
Begin
  ch:=readkey;
End;

Procedure LogoInteraccion;
var
  xm,ymax :word;
Begin
  InicializaGrafico;
  xm:=GetmaxX div 2;ymax:=GetmaxY;

```

```

SetTextStyle(1,0,5);
SetTextJustify(1,0);
OutTextXY(xm,ymax div 5,'DIAGRAMA DE');
OutTextXY(xm,2*ymax div 5,'INTERACCION');
OutTextXY(xm,3*ymax div 5,'DE COLUMNAS');
SetTextStyle(1,0,3);
OutTextXY(xm,4*ymax div 5,'Por : Ing. JOSE RODRIGUEZ YAURI');
CualquierTecla;
RestoreCrtMode;
End;

```

```

Procedure SeleccionAcero;

```

```

Begin

```

```

  Case Tipo of

```

```

    4: Begin asv:=1.27; dv:=1.27; vari:=' 1/2" ' end; { ø = 1/2" }
    5: Begin asv:=1.97; dv:=1.59; vari:=' 5/8" ' end; { ø = 5/8" }
    6: Begin asv:=2.85; dv:=1.91; vari:=' 3/4" ' end; { ø = 3/4" }
    7: Begin asv:=3.84; dv:=2.22; vari:=' 7/8" ' end; { ø = 7/8" }
    8: Begin asv:=5.00; dv:=2.54; vari:=' 1" ' end; { ø = 1" }
    9: Begin asv:=6.45; dv:=2.85; vari:=' 1 1/8" ' end; { ø = 1 1/8" }
   10: Begin asv:=8.19; dv:=3.17; vari:=' 1 1/4" ' end; { ø = 1 1/4" }
   11: Begin asv:=10.00; dv:=5.08; vari:=' 1 3/8" ' end; { ø = 1 3/8" }

```

```

  end;

```

```

End;

```

```

Procedure LeeTipoAcero;

```

```

Begin

```

```

  Titulo('TIPO DE ACERO A USAR (ø en pulgadas)');

```

```

  clrscr;HighVideo;

```

```

  gotoxy(30,2);writeln('NUMERO      DIAMETRO');

```

```

  LowVideo;

```

```

  gotoxy(30,4);writeln('  4          1/2" ');

```

```

  gotoxy(30,5);writeln('  5          5/8" ');

```

```

  gotoxy(30,6);writeln('  6          3/4" ');

```

```

  gotoxy(30,7);writeln('* 7          7/8" ');

```

```

  gotoxy(30,8);writeln('  8           1" ');

```

```

  gotoxy(30,9);writeln('* 9         1 1/8" ');

```

```

  gotoxy(30,10);writeln('* 10        1 1/4" ');

```

```

  gotoxy(30,11);writeln(' 11        1 3/8" ');

```

```

  HighVideo;

```

```

  gotoxy(27,14);write('NUMERO DE VARILLA A USAR : ');

```

```

  gotoxy(12,17);

```

```

  write('* Estas Varillas No se encuentran en el Mercado Peruano');

```

```

  ok:=false;

```

```

  window(55,19,79,19);

```

```

  Repeat

```

```

    clrscr;

```

```

    readln(tipo);

```

```

    if tipo in [4..11] then ok:=true
      else son(350,150);

```

```

  Until ok=true;

```

```

  window(2,6,79,23);

```

```

    Lowvideo;
    SeleccionAcero;
    Asl:=2*Asv;
End;

Procedure Datos;
Begin
    MarcoFondo;
    Titulo('CARACTERISTICAS DE LA SECCION');
    gotoxy(30,5);write('f',#39,'c (kg/cm',#253,') : ');read(fc);
    gotoxy(30,6);write('fy (kg/cm',#253,') : ');read(fy);
    gotoxy(30,7);write('h (cm) : ');read(hh);
    gotoxy(30,8);write('b (cm) : ');read(bb);
    gotoxy(30,9);write('dx (cm) : ');read(dxx);
    gotoxy(30,10);write('dy (cm) : ');read(dyy);
End;

Procedure OtrosDatos;
Begin
    cond:=true;
    if fc<=280 then B1:=0.85
        else b1:=0.85-Int((fc-280)/70)*0.05;
    gh:=hh-2*(hh-dxx);
    SpaLibre:=(gh-(nAsx-1)*dv)/(nAsx-1);
    if SpaLibre<2.54 then
        Begin
            str(nAsx:2,stmse);
            str(hh:3:0,strh);
            stmse:='No entran '+stmse+' varillas de '+vari+' en h='+strh+' cm';
            HighVideo;
            gotoxy(18,15);writeln(stmse);
            CualquierTecla;
            LowVideo;
            cond:=false;
        end;
    if cond=true then
        Begin
            SpaVarillas:=SpaLibre+dv;
            dx[1]:=hh-dxx;
            For i:=2 to nAsx do
                dx[i]:=dx[1]+(i-1)*SpaVarillas;
            nAsy:=nAst div 2 -nAsx+2;
            gh:=bb-2*(bb-dyy);
            spalibre:=(gh-(nAsy-1)*dv)/(nAsy-1);
            if spalibre<2.54 then
                Begin
                    str(nAsy:2,stmse);
                    str(bb:3:0,strb);
                    stmse:='No entran '+stmse+' varillas de '+vari+' en b='+strb+' cm';
                    HighVideo;
                    gotoxy(18,15);writeln(stmse);
                end;
            end;
        end;
    end;
End;

```

```

    CualquierTecla;
    LowVideo;
    cond:=false;
end;
if cond=true then
  Begin
    SpaVarillas:=SpaLibre+dv;
    dy[1]:=bb-dyy;
    For i:=2 to nAsy do
      dy[i]:=dy[1]+(i-1)*SpaVarillas;
    end;
  end;
end;
End;

Procedure Varillas;
Begin
  Repeat
    Titulo('ACERO DE LA COLUMNA');
    LeeTipoAcero;clrscr;
    gotoxy(21,6);write('Numero de Varillas en la Columna : ');read(nAst);
    gotoxy(15,8);write('Numero de Varillas en una cara en la Direccion X : ');
    read(nAsx);
    Cuantia:=nAst*Asv/bb/hh*100;    {En Porcentaje}
    OtrosDatos;
  Until cond=true;
End;

Procedure Analisis;
Var
  ch:char;
Begin
  MarcoFondo;
  Titulo('ANALISIS');
  gotoxy(25,6);write('Direccion de Analisis ( / ) : ');
  HighVideo;
  gotoxy(48,6);write('X');
  gotoxy(50,6);write('Y');
  gotoxy(56,6);
  LowVideo;
  ok:=false;
  repeat
    ch:=upcase(readkey);
    if ch in ['X','Y'] then Begin ok:=true;write(ch) end
    else son(350,100);
  until ok=true;
  if ch='X' then direc:='x';
  if ch='Y' then direc:='y';
  gotoxy(20,8);write('Dado Pu obtener el correspondiente Mu..( )');
  gotoxy(20,9);write('Dado Mu obtener el correspondiente Pu..( )');
  HighVideo;
  gotoxy(60,8);write('M');

```

```

gotoxy(60,9);write('P');
gotoxy(35,11);write('Caso : ');
LowVideo;
ok:=false;
repeat
  ch:=upcase(readkey);
  if ch in ['M','P'] then Begin ok:=true;write(ch);caso:=ch end
  else son(350,100);
until ok=true;
End;

Function CalculaMu(P:real;ch:char):real;
Var
  nAx,nAy:Integer;
  d:vector1;
Function CalFuncion(a:real):real;
Var
  c:real;
Begin
  Sumfs:=0;Sumfshd:=0;
  c:=a/B1;
  For i:=1 to nAx do
    Begin
      fs[i]:=6090*(c-d[i])/c;
      if fs[i]>0 then fs[i]:=fs[i]-0.85*fc;
      if fs[i]> fy then fs[i]:=fy;
      if fs[i]<-fy then fs[i]:=-fy;
      sumfs:=sumfs+fs[i];
      sumfshd:=sumfshd+fs[i]*(h/2-d[i]);
    end;
  CalFuncion:=0.85*fc*a*b+As1*sumfs+(nAy-2)*Asv*(fs[1]+fs[nAx])-P/fi;
End;
Procedure RegulaFalsi;
Begin
  valor:=true;dr:=0;a1:=h/3;a2:=h/4;
  Repeat
    er:=CalFuncion(a1);
    fr:=CalFuncion(a2);
    cr:=a1-er*(a2-a1)/(fr-er);
    if abs(dr-cr)<=aprox
      then Begin
        ar:=cr;
        gr:=CalFuncion(ar); {para que los valores finales de fs y f's
          sean los correspondientes a ar }
        valor:=false
      end
    else Begin
      dr:=cr;gr:=CalFuncion(cr);
      if er*gr<0 then a2:=cr
        else a1:=cr;
      end;
    Until valor=false;
end;

```



```

Begin      {main Proc. CalculaMu}
  if ch='x' then Begin
    nAx:=nAsx;nAy:=nAsy;
    b:=bb;h:=hh;
    For i:=1 to nAsx do
      d[i]:=dx[i];
    end
  else Begin
    nAx:=nAsy;nAy:=nAsx;
    b:=hh;h:=bb;
    For i:=1 to nAsy do
      d[i]:=dy[i];
    end;
  RegulaFalsi;
  CalculaMu:=fi*(0.85*fc*a*b*(h/2-ar/2)+As1*sumfshd+(nAy-2)*Asv*
    (fs[1]*(h/2-d[1])+fs[nAx]*(h/2-d[nAx])))/100000;
End;

Function CalculaPu(M:real;ch:char):real;
Var
  nAx,nAy:Integer;
  d:Vector1;
Function CalFuncion(a:real):real;
Var
  c:real;
Begin
  Sumfs:=0;Sumfshd:=0;
  c:=a/B1;
  For i:=1 to nAx do
    Begin
      fs[i]:=6090*(c-d[i])/c;
      if fs[i]>0 then fs[i]:=fs[i]-0.85*fc;
      if fs[i]> fy then fs[i]:=fy;
      if fs[i]<-fy then fs[i]:=-fy;
      sumfs:=sumfs+fs[i];
      sumfshd:=sumfshd+fs[i]*(h/2-d[i]);
    end;
  CalFuncion:=0.85*fc*a*b*(h/2-a/2)+As1*sumfshd+
    (nAy-2)*Asv*(fs[1]*(h/2-d[1])+fs[nAx]*(h/2-d[nAx]))-M/fi;
End;
Procedure RegulaFalsi;
Begin
  valor:=true;dr:=0;
  ab:=6090*B1*d[nAx]/(fy+6090);
  Repeat
    er:=CalFuncion(a1);
    fr:=CalFuncion(a2);
    cr:=a1-er*(a2-a1)/(fr-er);

```

```

if abs(dr-cr)<=aprox
  then Begin
    ar:=cr;
    gr:=CalFuncion(ar); {para que los valores finales de fs y f's
                        sean los correspondientes a ar }
    valor:=false
  end
  else Begin
    dr:=cr;gr:=CalFuncion(cr);
    if er*gr<0 then a2:=cr
                else a1:=cr;
    end;
  Until valor=false;
end;

Begin      {main Proc. EvaluaMomentos}
  if ch='x' then Begin
    nAx:=nAsx;nAy:=nAsy;
    b:=bb;h:=hh;
    For i:=1 to nAsx do
      d[i]:=dx[i];
    end
  else Begin
    nAx:=nAsy;nAy:=nAsx;
    b:=hh;h:=bb;
    For i:=1 to nAsy do
      d[i]:=dy[i];
    end;
  RegulaFalsi;
  CalculaPu:=fi*(0.85*fc*ar*b+Asl*sumfs+(nAy-2)*Asv*
                (fs[1]+fs[nAx]))/1000;
End;

Procedure ImprimeCuantia;
Begin
  HighVideo;
  gotoxy(35,3);write('DIRECCION ',upcase(direc));
  gotoxy(32,13);write('Usando : ',nAst,' ø',vari);
  gotoxy(32,15);write('Cuantia : ',Cuantia:5:2,' %');
  LowVideo;
End;

Procedure DadoMu;
Var
  PP:real;
Begin
  strcaso:=' (Dado Pu calcular Mu)';
  Titulo('Dado Mu obtener el Correspondiente Valor de Pu');
  gotoxy(32,6);write('Mu (ton.m) :');read(Mu);
  clrscr;

```

```

if direc='x' then begin a1:=hh/2;a2:=hh/3 end
                    else begin a1:=bb/2;a2:=bb/3 end;
PP:=CalculaPu(Mu*100000,direc);
if ar<ab then Begin
                    a1:=ab*1.2;
                    a2:=ab*1.5;
                    strmu1:='trac';
                    strmu2:='comp';
                    end
                    else Begin
                    a1:=ab/1.2;
                    a2:=ab/1.5;
                    strmu1:='comp';
                    strmu2:='trac';
                    end;
ImprimeCuantia;
gotoxy(32,6);write('Mu=',Mu:7:2,' ton.m');
gotoxy(31,8);write('Pu',strmu1,'=',PP:7:2,' ton');
PP:=CalculaPu(Mu*100000,direc);
gotoxy(31,9);write('Pu',strmu2,'=',PP:7:2,' ton');
CualquierTecla;
End;

Procedure DadoPu;
Begin
  strcaso:=' (Dado Mu calcular Pu)';
  Titulo('Dado Pu obtener el Correspondiente Valor de Mu');
  gotoxy(33,6);write('Pu (ton) :');read(Pu);
  clrscr;
  ImprimeCuantia;
  gotoxy(33,7);write('Pu',direc,'=',Pu:7:2,' ton');
  gotoxy(33,9);write('Mu=',CalculaMu(Pu*1000,direc):6:2,' ton.m');
  CualquierTecla;
End;

Procedure EsperaParaIr;
Var
  ch:char;
Begin
  Titulo('MENU');
  HighVideo;
  gotoxy(36,5);write('Presione');
  LowVideo;
  gotoxy(22,7);write('(      ) Para Introducir Nuevos Datos');
  gotoxy(22,8);write('(      ) Para Cambiar de Direccion');
  gotoxy(22,9);write('(      ) Para cambiar',strCaso);
  gotoxy(22,10);write('(      ) Para Introducir Nuevas Varillas');
  gotoxy(22,11);write('<      > Para continuar con otra carga');
  gotoxy(22,12);write('<      > Para Terminar');
  HighVideo;
  gotoxy(23,7);write(' N ');

```

```

gotoxy(23,8);write(' D ');
gotoxy(23,9);write(' C ');
gotoxy(23,10);write(' V ');
gotoxy(23,11);write('ENTER');
gotoxy(23,12);write(' ESC ');
LowVideo;
ok:=false;
Repeat
  ch:=uppercase(readkey);
  if ch=#0 then ch:=readkey;
  if ch in ['N','D','C','V',#13,#27] then Begin ok:=true;Adonde:=ch end
  else son(350,100);
Until ok=true;
End;

Procedure FlechaIzq(xg,yg :word);
Begin
  line(xg+1,yg,xg+5,yg-2);
  line(xg+1,yg,xg+5,yg+2);
  line(xg+5,yg-2,xg+5,yg+2);
end;

Procedure FlechaDer(xg,yg :word);
Begin
  line(xg-1,yg,xg-5,yg-2);
  line(xg-1,yg,xg-5,yg+2);
  line(xg-5,yg-2,xg-5,yg+2);
end;

Procedure FlechaArr(xg,yg :word);
Begin
  line(xg,yg+1,xg-2,yg+5);
  line(xg,yg+1,xg+2,yg+5);
  line(xg-2,yg+5,xg+2,yg+5);
End;

Procedure FlechaAba(xg,yg :word);
Begin
  line(xg,yg-1,xg-2,yg-5);
  line(xg,yg-1,xg+2,yg-5);
  line(xg-2,yg-5,xg+2,yg-5);
End;

Procedure GraficaSeccion;
Var
  xm,ym,x,y,x0,y0,x1,y1,x2,y2,hg,bg,dxg,dyg :Word;
  kx,ky :real;
  strh,strb,strnAst :string[35];
Begin
  SetGraphMode(GetGraphMode);
  xm:=GetmaxX div 2;ym:=GetmaxY div 2;
  SetTextStyle(1,0,4);

```

```

SetTextJustify(1,0);
OutTextXY(xm,ym div 4,'SECCION DE LA COLUMNA');
str(nAst:=3,strnAst);
SetTextStyle(1,0,3);
strnAst:='Usando : '+strnAst+' varillas de '+vari;
OutTextXY(xm,2*ym-ym div 14,strnAst);
if (xm/hh) < (ym/bb) then Begin
    kx:=3/2*xm/hh;
    ky:=3/2*xm/hh/cgr
end
else Begin
    kx:=3/2*ym/bb;
    ky:=3/2*ym/bb/cgr
end;
hg:=trunc(kx*hh);bg:=trunc(ky*bb);
dxg:=trunc(kx*dxx);dyg:=trunc(ky*dyy);
x0:=xm-(hg div 2);y0:=ym-(bg div 2);
setLineStyle(0,0,thickwidth);
Rectangle(x0,y0,x0+hg,y0+bg);
SetLineStyle(0,0,NormWidth);
y1:=y0+(bg-dyg);y2:=y0+bg-(bg-dyg);
For i:=1 to nAsx do
    Begin
        x:=x0+hg-trunc(dx[i]*kx);
        circle(x,y1,5);circle(x,y1,4);
        circle(x,y2,5);circle(x,y2,4);
    end;
x1:=x0+(hg-dxg);x2:=x0+hg-(hg-dxg);
For i:=2 to (nAsy-1) do
    Begin
        y:=y0+trunc(dy[i]*ky);
        circle(x1,y,5);circle(x1,y,4);
        circle(x2,y,5);circle(x2,y,4);
    end;
y:=y0+bg+ym div 7;
line(x0,y+10,x0,y-10);
line(x0+hg,y+10,x0+hg,y-10);
line(x0,y,x0+hg,y);
FlechaIzq(x0,y);
FlechaDer(x0+hg,y);
str(hh:=4:0,strh);
strh:='h'+strh+' cm';
SetTextStyle(0,0,1);
SetTextJustify(1,0);
OutTextXY(xm,y-4,strh);
x:=x0-xm div 12;
line(x-10,y0,x+10,y0);
line(x-10,y0+bg,x+10,y0+bg);
line(x,y0,x,y0+bg);
FlechaArr(x,y0);
FlechaAba(x,y0+bg);
str(bb:=4:0,strb);

```

```

    strb:='b'+strb+' cm';
    SetTextStyle(0,1,1);
    SetTextJustify(0,1);
    OutTextXY(x-4,ym,strb);
    CualquierTecla;
    RestoreCrtMode;
End;

Begin          (* main Program *)
  Logotipo;
  LogoInteraccion;
  Datos;
  Varillas;
  GraficaSeccion;
  Analisis;
  Repeat
    if Caso='M' then DadoPu
                      else DadoMu;
  EsperaParaIr;
  Case Adonde of
    'N': Begin
            Datos;
            Varillas;
            GraficaSeccion;
            Analisis;
          end;
    'D': Analisis;
    'C': if caso='M' then caso:='P'
          else caso:='M';
    'V': Begin
            Varillas;
            GraficaSeccion;
            Analisis;
          end;
  end;
  Until Adonde=#27;
End

```

BIBLIOGRAFIA

- **R. PARK and T. Paulay:** "Estructuras de concreto reforzado".Editorial Limusa; México 1 980.
- **PHIL M. FERGUSON:** " Fundamentos de concreto reforzado" Compañía Editorial Continental,S.A.. México 1 979.
- **G. WINTER y A.H. WILSON:** "Proyecto de estructuras de hormi-
qón".
- **GONZALES CUEVAS-FRANCISCO ROBLES- JUAN CASILLAS-ROGER DIAZ
de COSIO:** "Aspecto fundamental de concreto reforzado"
- **JUAN E. ORTEGA GARCIA :** "Manual de estructuras de concreto
armado"; CAPECO 1 985.
- **ROBERTO MORALES-ANTONIO BLANCO:** "Diseño de estructuras de
concreto armado"; curso de actualización Promoción 89-I
UNI- Lima 1989.
- **STEPHEN K OBRIEN :** "Turbo Pascal,manual de referencia"
Editorial Mc Graw-Hill,México 1983.
- **ROONAY ZAKS:** "Programación en TURBO PASCAL";Anaya Multime-
dia, Madrid 1986.
- **MAYNARD KANG:** "Lenguaje de programación pascal".PUCP:Fondo
Editorial 1988.