AA56/02

Original

UCAB Universidad Católica
CENTRO CULTURAL PADRE ... PLAZA S J
BIBLIOTECA CENTRAL - SALA P. PLAZA S J
PLANTA BAJA - REFERENCIA

PROGRAMA PARA EL CÁLCULO Y DISEÑO DE FUNDACIONES DIRECTAS

Trabajo de ascenso para optar al grado de ~~instructor~~ asistente
Escuela de Ingeniería
Facultad Civil
U.C.A.B.

Diciembre, 2013

Profesor: José Antonio Noriega Horrillo

CONTENIDO

1. OBJETIVO 2
2. PREMISAS 2
3. LIMITACIONES: 2
4. FORMULACIÓN GENERAL 3
5. ANÁLISIS 6
   - 5.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA EQUIVALENTE DE CARGA 7
   - 5.2 CÁLCULO DE LAS EXCENTRICIDADES DE LAS CARGAS 8
   - 5.3 SUPOSICION INICIAL DE LA GEOMETRÍA DE LA ZAPATA 8
   - 5.4 DEFINICION INICIAL DEL EJE NEUTRO 8
   - 5.5 DETERMINACIÓN LAS PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LA ZONA A COMPRESIÓN 9
     - 5.5.1 Propiedades geométricas para casos con zona a compresión rectangular (casos 1 al 6) 1
     - 5.5.2 Propiedades geométricas para casos con zona a compresión triangular o trapezoidal (casos 7 al 10). 1
   - 5.6 CÁLCULO DEL EJE NEUTRO 2
   - 5.7 PROCESO ITERATIVO HASTA OBTENER LA SOLUCIÓN DEFINITIVA 2
   - 5.8 CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS EN EL SUELO 2
   - 5.9 CÁLCULO DE ESPESOR DE LA ZAPATA 3
     - 5.9.1 Determinación del espesor de la zapata por corte. 4
     - 5.9.2 Determinación del espesor de la zapata por punzonado 5
   - 5.10 CÁLCULO DEL ACERO DE REFUERZO A FLEXIÓN EN LA ZAPATA 6
6. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA 9
   - 6.1 INTRODUCCION DE DATOS 9
   - 6.2 RESULTADOS 11
   - 6.3 EJEMPLOS 12
     - 6.3.1 Ejemplo de revisión 12
     - 6.3.2 Ejemplo de diseño 13
7. CONCLUSIONES: 14
8. RECOMENDACIONES: 14

1. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es presentar un programa sencillo que permita el diseño o la revisión de fundaciones directas tipo zapata, sometidas a la acción de fuerzas axiales, horizontales y momentos.

El programa es capaz de definir la geometría la zapata, determinar los esfuerzos en el suelo y diseñar el acero de refuerzo requerido.

El programa permite considerar casos en que la zapata se despega parcialmente del suelo.

Este programa puede ser utilizado en el diseño de fundaciones directas para edificaciones, fundaciones de equipos menores, soportes, etc.

2. PREMISAS

El desarrollo teórico del programa se basa sobre los conceptos básicos de resistencia de materiales, diseño de fundaciones y el artículo "How to Calculate Footing Soil Bearing by Computer" de Eli Czerniak.

Las hipótesis básicas de diseño son:

- La distribución de esfuerzos en el suelo bajo la zapata es lineal, es decir que la fundación es rígida. Esta consideración conduce usualmente a diseños conservadores.
- El suelo no resiste a la tracción.
- Se emplea la norma "Building Code Requirements for structural concrete ACI 318-08" para el diseño del concreto armado.
-

3. LIMITACIONES:

El trabajo presentado posee las siguientes limitaciones:

- Las zapatas deben tener una sección rectangular o cuadrada.
- Los esfuerzos se distribuyen linealmente.
- La zapata es de espesor constante.
- No se verifica el volcamiento ni el deslizamiento.
- El programa no verifica zapatas sometidas a fuerzas de tracción.

4. FORMULACIÓN GENERAL

Una fundación directa o zapata al estar sometida a cargas verticales y momentos genera esfuerzos de compresión en el suelo, generando un área a compresión bajo la losa en contacto con el suelo.

En el caso general, el área comprimida bajo la zapata y la magnitud de los esfuerzos de suelo quedan definidos por la posición del eje neutro, el cual divide la zona a compresión de la zona de esfuerzos ceros.

El programa se fundamenta en que se pueden determinar la posición del eje neutro en base a las excentricidades de la carga aplicada y las propiedades geométricas del área comprimida.

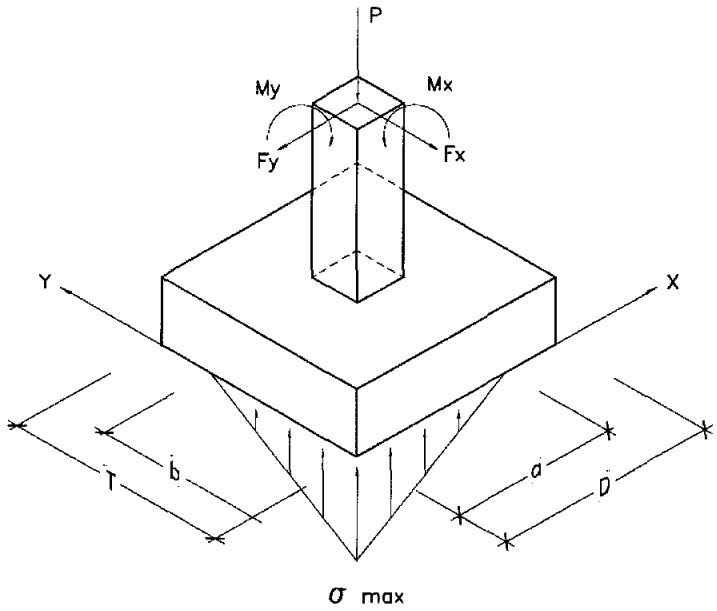


Figura 1. Fundación Directa o zapata.

Por conveniencia el origen de coordenadas se ubica en una esquina de la fundación y el máximo esfuerzo en el suelo ocurre en dicho vértice, de esta forma el esfuerzo del suelo bajo la zapata, $\sigma_{(x,y)}$ en un punto de coordenadas "x" e "y" en función del esfuerzo máximo actuante, σ_{max} es:

$$\sigma_{(x,y)} = \sigma_{\max}\left(1 - \frac{x}{a} - \frac{y}{b}\right)$$

En donde *a* y *b* son la valores de la ordenada y la abscisa respectivamente en el que el eje neutro corta los ejes de coordenadas.

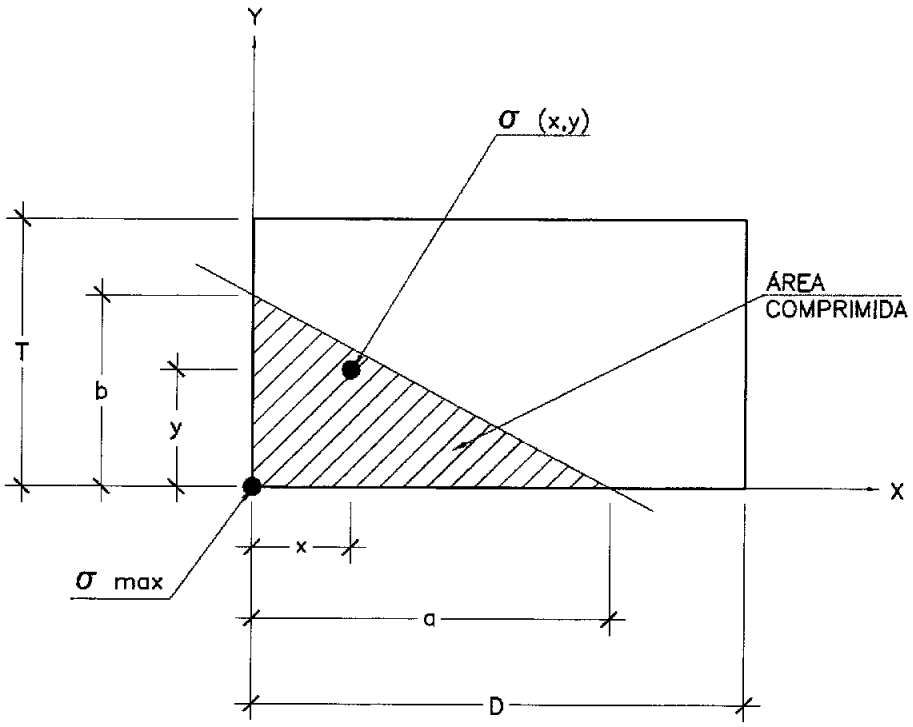


Figura 2. Representación del fondo de la fundación

La fuerza resultante "*P*" del bloque de esfuerzo es:

$$P = \int \sigma_{(x,y)} dA = \sigma_{\max}\left(\int dA - \frac{1}{a}\int x dA - \frac{1}{b}\int y dA \right)$$

Los momentos de la fuerza alrededor de los ejes *x* e *y* son:

$$M_x = \int \sigma_{(x,y)} y dA = \sigma_{\max}\left(\int y dA - \frac{1}{a}\int xy dA - \frac{1}{b}\int y^2 dA \right)$$

$$M_y = \int \sigma_{(x,y)} x dA = \sigma_{\max}\left(\int x dA - \frac{1}{b}\int xy dA - \frac{1}{a}\int x^2 dA \right)$$

Las excentricidades respecto a los ejes de coordenadas son:

$$e_x = \frac{M_y}{P} = \frac{\left(\int xdA - \frac{1}{b}\int xydA - \frac{1}{a}\int x^2 dA\right)}{\left(\int dA - \frac{1}{a}\int xdA - \frac{1}{b}\int ydA\right)} = \frac{Q_x - \frac{I_{xy}}{b} - \frac{I_x}{a}}{A - \frac{Q_x}{a} - \frac{Q_y}{b}}$$

$$e_y = \frac{M_x}{P} = \frac{\left(\int ydA - \frac{1}{a}\int xydA - \frac{1}{b}\int y^2 dA\right)}{\left(\int dA - \frac{1}{a}\int xdA - \frac{1}{b}\int ydA\right)} = \frac{Q_y - \frac{I_{xy}}{a} - \frac{I_y}{b}}{A - \frac{Q_x}{a} - \frac{Q_y}{b}}$$

Ahora bien, como las excentricidades son conocidas y nuestras incógnitas son "*a*" y "*b*", que definen la posición del eje neutro, estas se obtienen del despeje de las ecuaciones anteriores:

$$a = \frac{(I_y - e_y Q_y)(I_x - e_x Q_x) - (I_{xy} - e_y Q_x)(I_{xy} - e_x Q_y)}{(I_{xy} - e_x Q_y)(Ae_{y-} Q_y) - (I_y - e_y Q_y)(Ae_x - Q_x)}$$

$$b = \frac{(I_{xy} - e_y Q_x)(I_{xy} - e_x Q_y) - (I_x - e_x Q_x)(I_y - e_y Q_y)}{(I_x - e_x Q_x)(Ae_{y-} Q_y) - (I_{xy} - e_y Q_x)(Ae_x - Q_x)}$$

Como puede observarse la posición del eje neutro queda en función de las excentricidades de la carga (e_x, e_y) y de los momentos estáticos de primer orden (Q_x, Q_y) y segundo orden (I_x, I_y, I_{xy}) del área comprimida con respecto a los ejes establecidos.

Para la determinación de las propiedades de la zona a compresión (área, momentos estáticos de primer y segundo orden) es necesario definir la geometría de dicha zona, para ello se desarrollaron dos series de fórmulas asociadas a las diez configuraciones de zonas comprimidas posibles (ver Figura 5). La primera serie de fórmulas corresponde a zonas de compresión rectangulares y la segunda a zonas no rectangulares.

El área comprimida se define, inicialmente, considerando una posición del eje neutro, luego en base a las excentricidades de la carga y las propiedades del área comprimida supuesta, se calcula la posición del eje neutro por las fórmulas antes deducidas, al realizar una comparación entre la posición del eje neutro inicialmente considerada y la calculada, se verifica la igualdad, en caso de ser diferentes se modifica la suposición del eje neutro y se rehace el cálculo las veces necesarias hasta obtener la coincidencia.

Existen métodos que hacen converger más rápidamente a la solución, tal como es considerar que la ordenada y la abscisa del eje neutro son proporcionales a las excentricidades de la carga.

Una vez determinada la posición del eje neutro, se determina la magnitud del esfuerzo máximo del bloque de esfuerzo, dado que el volumen del bloque es igual a la carga aplicada.

5. ANÁLISIS

El análisis está enfocado para diseñar fundaciones y para revisar fundaciones, en el diseño se desconoce las dimensiones de la fundación, por lo que se debe definir la geometría de la zapata de forma tal, que se generen en el suelo el máximo esfuerzo admisible, en la revisión de la zapata la geometría es conocida y se desea determinar los esfuerzos actuantes en el suelo.

En líneas generales, en la opción de diseño, para las solicitaciones conocidas, se predimensionará una geometría de la zapata y se ubicará una posible ubicación del eje neutro, para esta ubicación se determinan el área y las inercias de la zona comprimida, y con las excentricidades de la carga se determina una nueva posición del eje neutro, la cual se comprara con la inicialmente considerada, en caso de ser diferentes se modifica la posición del eje neutro las veces necesarias hasta lograr la convergencia, una vez obtenida una solución estable se determina el máximo esfuerzo actuante y se comparará con el esfuerzo admisible, en caso de que sean diferentes, se redimensionará la geometría, y se vuelven a repetir los pasos descritos anteriormente hasta que el esfuerzo actuante sea similar al esfuerzo admisible.

En la opción revisión, la geometría es conocida y solo se realizan los pasos requeridos para determinar los esfuerzos actuantes en el suelo.

Una vez definidas las dimensiones de la zapata y los esfuerzos del suelo se determina el espesor requerido de la zapata, de forma tal, que no ocurra una falla de punzonado o corte, y con este espesor se determinan las cantidades de refuerzo a flexión requerido en ambas direcciones, según las normas ACI.

En general los procesos de cálculos realizados en el análisis y diseño de las zapatas son los siguientes:

- Definición del sistema equivalente de carga
- Cálculo de las excentricidades
- Definición de la geometría inicial de la zapata
- Definición inicial del eje neutro
- Determinación las propiedades del área comprimida
- Cálculo de la posición del eje neutro
- Proceso iterativo hasta obtener la solución definitiva.
- Cálculo de los esfuerzos en el suelo
- Determinación del espesor de la zapata
- Determinación del acero de refuerzo a flexión.

A continuación se desarrollan estos procesos:

5.1 DEFINICIÓN DEL SISTEMA EQUIVALENTE DE CARGA

El sistema de cargas mostrado en la Figura 3 aplicado en un sistema de coordenadas con origen en el centro del coordenadas (x´,y´) se transformará a un sistema equivalente (x,y) en donde las solicitaciones se aplican en la cara inferior de la zapata en contacto con el suelo.

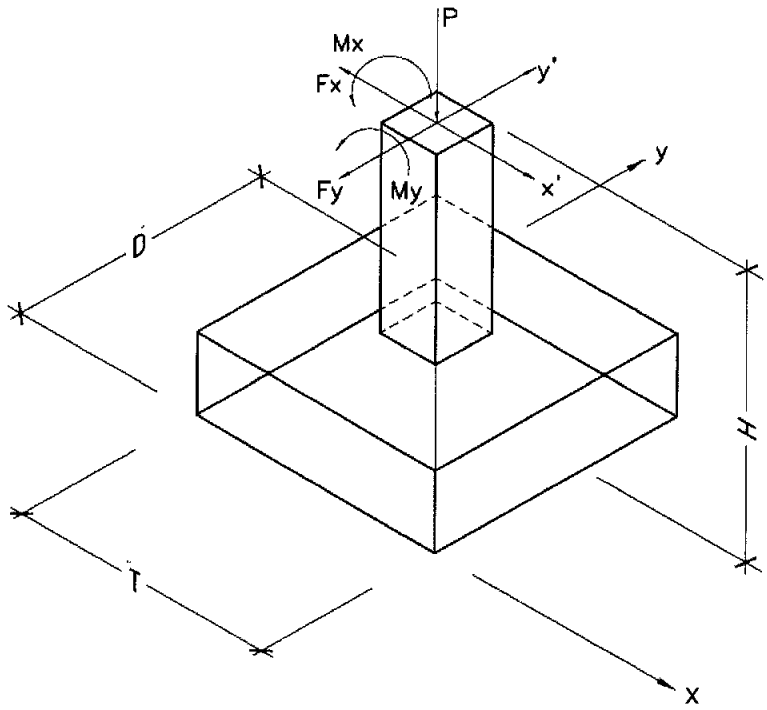


Figura 3. Sistema de coordenadas para la aplicación de cargas y sistema de coordenadas para la fundación.

Las fórmulas empleadas para realizar la transformación son las siguientes:

$$M_X = M'_X + F'_Y H$$

$$M_Y = M'_Y + F'_X H$$

En donde las fuerzas son definidas como F_x y F_y según las direcciones en que actúan y los momentos como M_x y M_y según alrededor del eje en que actúan.

5.2 CÁLCULO DE LAS EXCENTRICIDADES DE LAS CARGAS

Las excentricidades, e_x y e_y, de las cargas aplicadas respecto a los ejes de coordenadas: se determinan según las siguientes fórmulas:

$$e_x = \frac{D}{2} - \frac{M_y}{P}$$

$$e_y = \frac{T}{2} - \frac{M_x}{P}$$

5.3 SUPOSICION INICIAL DE LA GEOMETRÍA DE LA ZAPATA

En el caso de "diseño", en el que se desconoce la geometría de la zapata, se consideran las siguientes dimensiones iníciales de la zapata:

$D = 12e_x$ ó $D = 1$ m, el mayor valor

$T = 12e_y$ ó **T** = 1 m, el mayor valor

Esta condición de 12 veces la excentricidad equivale a considerar que el eje neutro pasa por una esquina de la zapata.

En el caso de carga axial sin momentos o cuando uno de los momentos es cero se realizan los ajustes necesarios.

Adicionalmente se verifica que la relación largo a ancho de la zapata sea menor o igual a 1,5.

5.4 DEFINICION INICIAL DEL EJE NEUTRO

Inicialmente se supone que el eje neutro pasa por un vértice de la zapata, lo que origina que el esfuerzo en ese punto sea cero, adicionalmente se considera que el eje neutro corta los ejes de coordenadas a una distancia igual al doble de la dimensión de la zapata para cada eje.

Donde $a_0 = 2D$ y $b_0 = 2\mathbf{T}$

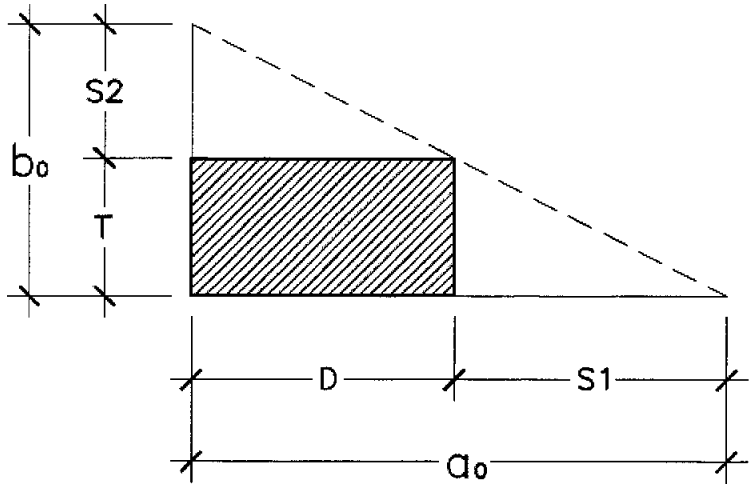


Figura 4. Posición del eje neutro inicial.

5.5 DETERMINACIÓN LAS PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LA ZONA A COMPRESIÓN

En el caso general, la ubicación del eje neutro puede generan distintas áreas a compresión en la zapatas, estas áreas se han agrupado en 10 posibles configuraciones, las cuales están representadas en la Figura 5, La zona sombreada representa el área comprimida.

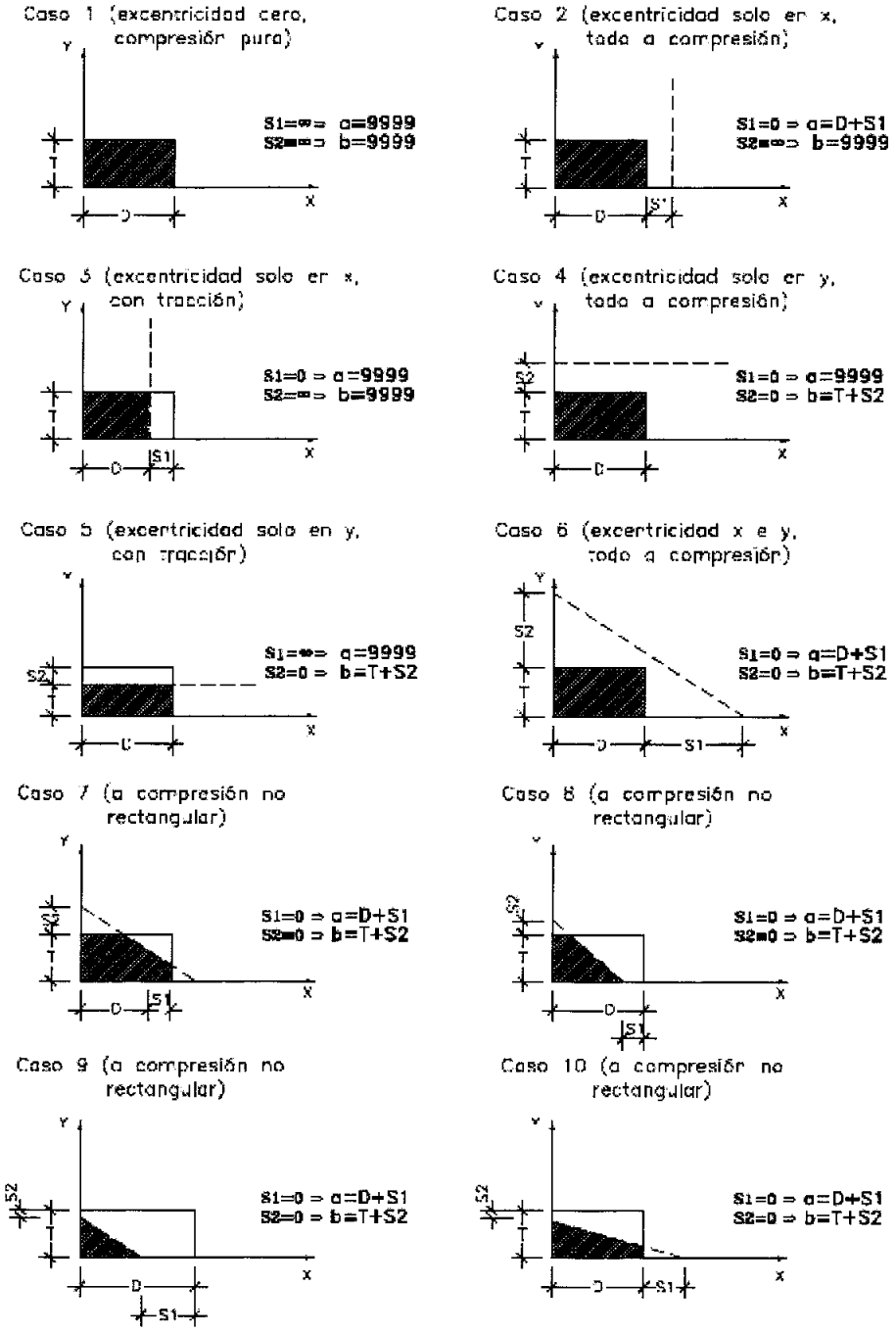


Figura 5. Definición de casos de zona comprimida

Definiendo las variables Ancho y Largo de la zapata (D y T), las distancias al origen en que el eje neutro corta la abscisa y la ordenada (a_0 y b_0), y calculando la distancias (positivas o negativas) de estos puntos a los bordes de la zapata (S1 y S2) se pueden plantear las ecuaciones que permiten la determinación de las áreas, momentos de inercia de primer orden, segundo orden y productos de inercia.

Las fórmulas de las propiedades de las áreas se han agrupado en dos grupos, uno para zona a compresión rectangular y otro para zona a compresión no rectangular, tal como se muestra a continuación:

5.5.1 Propiedades geométricas para casos con zona a compresión rectangular (casos 1 al 6).

$$A = D \cdot T + S2 \cdot D + \cdot S1 \cdot T$$

$$Qx = \frac{D \cdot T^2}{2} + \frac{S2 \cdot D}{2}(T + B) + \frac{S1 \cdot T^2}{2}$$

$$Qy = \frac{T \cdot D^2}{2} + \frac{S1 \cdot T}{2}(D + A) + \frac{S2 \cdot D^2}{2}$$

$$Ix = \frac{D \cdot T^3}{3} + \frac{D \cdot S2^3}{12} + \frac{S2 \cdot D}{4}(T + B)^2 + \frac{S1 \cdot T^3}{3}$$

$$Iy = \frac{T \cdot D^3}{3} + \frac{T \cdot S1^3}{12} + \frac{S1 \cdot T}{4}(D + A)^2 + \frac{S2 \cdot D^3}{3}$$

$$Ixy = \left(\frac{T \cdot D}{2}\right)^2 + \frac{S2 \cdot D^2}{4}(T + B) + \frac{S1 \cdot T^2}{4}(D + A)$$

5.5.2 Propiedades geométricas para casos con zona a compresión triangular o trapezoidal (casos 7 al 10).

$$A = \frac{A \cdot B}{2}\left[1 - \left(\frac{S1}{A}\right)^2 - \left(\frac{S2}{2}\right)^2\right]$$

$$Qx = \frac{A \cdot B^2}{6}\left[1 - \left(\frac{S1}{A}\right)^3 - \left(\frac{S2}{B}\right)^3 - 3\frac{T}{B}\left(\frac{S2}{B}\right)^2\right]$$

$$Qy = \frac{B \cdot A^2}{6}\left[1 - \left(\frac{S1}{A}\right)^3 - \left(\frac{S2}{B}\right)^3 - 3\frac{D}{A}\left(\frac{S1}{A}\right)^2\right]$$

$$Ix = \frac{A \cdot B^3}{12}\left[1 - \left(\frac{S1}{A}\right)^4 - \left(\frac{S2}{B}\right)^4 - 2\frac{T}{B^2}(2B+T)\left(\frac{S2}{B}\right)^2\right]$$

$$Iy = \frac{B \cdot A^3}{12}\left[1 - \left(\frac{S1}{A}\right)^4 - \left(\frac{S2}{B}\right)^4 - 2\frac{D}{A^2}(2A+D)\left(\frac{S1}{A}\right)^2\right]$$

$$Ixy = \frac{(A \cdot B)^2}{24}\left[1 - \left(\frac{S1}{A}\right)^4 - \left(\frac{S2}{B}\right)^4 - 4\frac{D}{A}\left(\frac{S1}{A}\right)^3 - 4\frac{T}{B}\left(\frac{S2}{B}\right)^3\right]$$

5.6 CÁLCULO DEL EJE NEUTRO

Una vez determinadas las características geometrías de la zona a compresión se procede a calcular la posición del eje neutro (a, b) considerando las excentricidades referidas al origen de coordenadas.

$$a = \frac{(I_y - e_y Q_y)(I_x - e_x Q_x) - (I_{xy} - e_y Q_x)(I_{xy} - e_x Q_y)}{(I_{xy} - e_x Q_y)(Ae_{y\_} Q_y) - (I_y - e_y Q_y)(Ae_x - Q_x)}$$

$$b = \frac{(I_{xy} - e_y Q_x)(I_{xy} - e_x Q_y) - (I_x - e_x Q_x)(I_y - e_y Q_y)}{(I_x - e_x Q_x)(Ae_{y\_} Q_y) - (I_{xy} - e_y Q_x)(Ae_x - Q_x)}$$

5.7 PROCESO ITERATIVO HASTA OBTENER LA SOLUCIÓN DEFINITIVA

Si el nuevo eje de coordenadas (a, b) coincide con el asumido (a_0, b_0)) el problema está resuelto; si no coincide (± 5%), vuelve a iterar, suponiendo un nuevo eje neutro hasta que la solución converja.

5.8 CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS EN EL SUELO

Una vez obtenido el eje neutro se calcula el máximo esfuerzo a compresión en la zapata.

En el caso de "Diseño" si el esfuerzo obtenido difiere del máximo admisible en ± 5% se corrige la dimensión original de la fundación, proporcionalmente a la diferencia de esfuerzos, se vuelve a asumir el eje neutro y se repiten los pasos mencionados previamente, hasta obtener una geometría tal, que proporcione que el máximo esfuerzo actuante coincida con el esfuerzo admisible en el suelo.

A continuación se calculan los esfuerzos en el resto de los vértices.

El esfuerzo $\sigma_{(x,y)}$ en un vértice de coordenadas "*x*" e "*y*", y en función del esfuerzo máximo σ_{max} es:

$$\sigma_{(x,y)} = \sigma_{\max}\left(1 - \frac{x}{a} - \frac{y}{b}\right)$$

En donde *a* y *b* son la valores de la ordenada y la abscisa respectivamente en el que el eje neutro corta los ejes de coordenadas.

De esta forma para los cuatro vértices se tiene:

$$\sigma_1 = \sigma_{max}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{max}\left(1 - \frac{x}{D}\right)$$

$$\sigma_3 = \sigma_{max}\left(1 - \frac{x}{D} - \frac{y}{T}\right)$$

$$\sigma_4 = \sigma_{max}\left(1 - \frac{y}{T}\right)$$

En los vértices donde el esfuerzo sea de tracción, se considerará que no hay esfuerzo.

5.9 CÁLCULO DE ESPESOR DE LA ZAPATA

El espesor de la zapata será tal que no se requiera refuerzo para resistir los esfuerzos de corte y solo el concreto resistirá el corte. El espesor considerado será uniforme en toda la zapata.

Para la determinación del espesor de la zapata se calcularan los esfuerzos de corte debido a la flexión en cada dirección y los generados por el punzonado del pedestal.

Se utilizará un esquema simplificado para la determinación de la fuerza de corte, para ello los esfuerzos del suelo se consideran uniformes e igual al máximo valor determinado σ_{max} . lo cual conduce a resultados conservadores. Ver Figura 6.

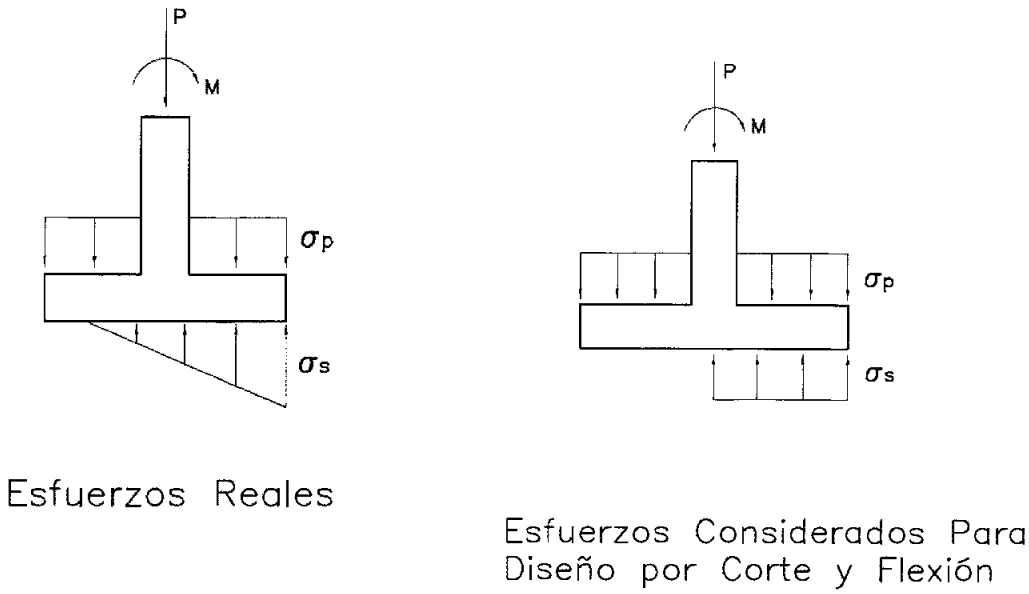


Figura 6. Caso real de esfuerzos en el suelo y consideraciones para el diseño a flexión y corte.

El espesor mínimo de la zapata será de 30 cm y en caso de ser mayor, se redondeará a múltiplo de 5cm, usando un recubrimiento de 7,5 cm.

5.9.1 Determinación del espesor de la zapata por corte.

El espesor de la zapata requerido para resistir las fuerzas cortantes es determinado acorde a la norma: "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08).

Las variables a utilizar en la formulación son:

b	ancho de la sección considera , 100 cm.
c_y	Ancho del pedestal en la dirección más larga de la zapata, cm.
d	distancia desde la fibra extrema comprimida hasta el baricentro del refuerzo longitudinal en tracción, cm.
D	Longitud mayor de la zapata, cm.
f'_c	Resistencia especificada del concreto en compresión, Kg/cm^2.
FM	Factor de mayoración a rotura.
V_c	Resistencia teórica al corte suministrado por el concreto, Kg.
V_n	Resistencia teórica al corte, Kg.
$\mathbf{V_u}$	Fuerza cortante mayorada, Kg.
σ_{max}	Esfuerzo máximo actuante en el suelo, Kg/cm^2.
Φ	Factor de reducción de resistencia.

El diseño de los miembros solicitados por fuerza cortante debe satisfacer la condición:

$$\phi V_n = V_u$$

donde Vu es la fuerza cortante mayorada en la sección considerada y Vn es la resistencia teórica al corte, considerando solo la resistencia al corte del concreto, tenemos:

$$V_n = V_c$$

La sección crítica considerada, en forma conservadora, queda en la cara de la columna, por lo que la fuerza cortante en un ancho de un metro de la zapata será igual a:

$$Vu = FM \times \sigma_{\max} \frac{(D - c_y)}{2} \times b$$

La fuerza a corte resistida por el concreto es:

$$V_c = 0{,}53\sqrt{f'_c}\,bd$$

Por lo que la altura útil requerida de la sección se obtiene despejando de las ecuaciones anteriores:

$$d = \frac{V_c}{0{,}53b\sqrt{f'_c}} = FM \times \sigma_{\max} \frac{(D - c_y)}{\phi 2 \times 0{,}53\sqrt{f'_c}}$$

Y el espesor de la zapata será la altura útil más un recubrimiento de 7,5 cm.

5.9.2 Determinación del espesor de la zapata por punzonado

El espesor requerido para evitar una falla de la losa de la zapata por punzonado del pedestal se determina acorde a "Building Code Requirements for Structural Concrete ACI 318-08".

Las variables utilizadas en el diseño son:

b_o	Perímetro de la sección critica. cm.
c_x	Ancho del pedestal en la dirección más corta de la zapata, cm.
c_y	Ancho del pedestal en la dirección más larga de la zapata, cm.
d	Altura útil de la losa, cm.
f'_c	Resistencia especificada del concreto en compresión, Kg/cm^2.
$F.M$	Factor de mayoración para diseño en condiciones ultimas.
V_c	Resistencia nominal al corte del concreto, Kg.
V_{c1}	Resistencia nominal al corte según la ecuación 11.31. ACI 318-08, Kg.
V_{c2}	Resistencia nominal al corte según la ecuación 11.32. ACI 318-08, Kg.
V_{c3}	Resistencia nominal al corte según la ecuación 11.33. ACI 318-08, Kg.
V_u	Resistencia ultima al corte, Kg.
α_s	Constante = 40.
Φ	Factor de reducción de resistencia.

La resistencia al punzonado viene dada por el menor valor de Vc de las siguientes expresiones:

$$V_{c1} = 0.265\left(2 + \frac{4c_x}{c_y}\right)\sqrt{f'_c}\,db_o$$

$$V_{c2} = 0.265\left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right)\sqrt{f'_c}\,db_o$$

$$V_{c3} = 0.265 \times 4\sqrt{f'_c}\,db_o$$

Donde b_o es el perímetro de la falla considerada:

$$b_o = 2c_x + 2c_y + 4d$$

La fuerza de corte actuante mayorada debe ser menor o igual a la resistencia al punzonado afectado por el Factor de reducción de resistencia al corte.

$$V_u \leq \phi V_c$$

La fuerza de corte actuante mayorada será igual a la carga axial mayorada.

$$V_u = FM \times P$$

Mediante un proceso iterativo variando la altura se obtiene que la fuerza de corte actuante mayorada sea menor o igual a la resistencia al punzonado afectado por el factor de reducción de resistencia al corte.

5.10 CÁLCULO DEL ACERO DE REFUERZO A FLEXIÓN EN LA ZAPATA

Se determinarán los momentos en las secciones críticas considerando una distribución uniforme de esfuerzos del suelo igual al máximo actuante.

En el caso de existir tracción se diseñará el acero necesario para soportar el peso del suelo por encima de la zapata, Este acero se colocará en la parte superior de la zapata.

Las variables utilizadas en el diseño son:

a	Altura del bloque rectangular equivalente de esfuerzos a compresión, cm.
As	Área de la armadura a tracción, cm^2.
As'	Área de la armadura a compresión, cm^2.
b	Ancho de la zona comprimida de la sección ,cm.
c	Distancia desde la fibra extrema comprimida a el eje neutro, cm.
cb	Distancia desde la fibra extrema comprimida al eje neutro en condición balanceada.
d	Distancia desde la fibra extrema comprimida al centroide de la armadura traccionada, cm.
Es	Módulo de Elasticidad de la armadura, Kg/cm^2.
f'c	Resistencia especificada del concreto a compresión, Kg/cm^2.
fy	Resistencia Cedente del acero de refuerzo, Kg/cm^2.
fs	Esfuerzo calculado en la armadura bajo cargas de servicio, Kg/cm^2.
h	altura total del miembro.
Mu	Momento mayorado a utilizar para el diseño, Kg x m.
r	Distancia desde la fibra extrema a tracción al centroide de la armadura a tracción ,cm.
r'	Distancia desde la fibra extrema a compresión al centroide de la armadura a compresión ,cm.
α	Porcentaje del refuerzo.
β	Factor usado en una distribución de esfuerzos a compresión rectangular.
ε_c	Deformación unitaria de la fibra más comprimida del concreto.
ε_s	Deformación unitaria de la armadura traccionada.

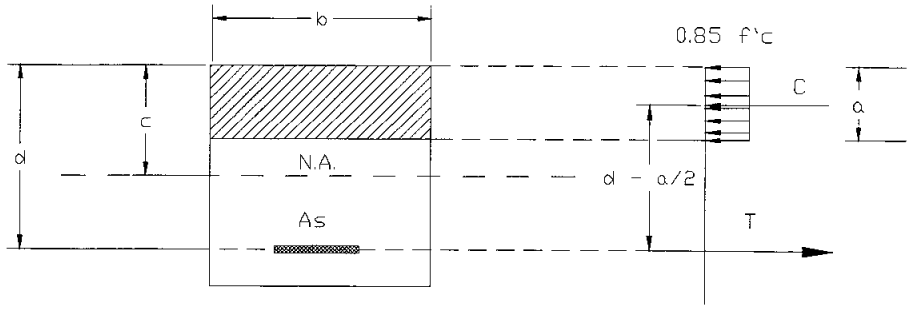
ε'_c Deformación unitaria de la armadura comprimida.

ε_y Deformación unitaria cedente de la armadura.

ρ_b Cuantía de la armadura que produce condiciones de deformación balanceada.

ϕ Factor de reducción.

Para el diseño de refuerzo a flexión utilizarán las siguientes expresiones:



SECCION FUERZAS

La fuerza de compresión *C* y la de tracción *T* son:

$$T = As \times fy$$

$$C = T$$

La altura de la zona a compresión viene dada por:

$$a = \frac{As \times fy}{0.85 f'c \times b}$$

El momento último será la fuerza de tensión por su brazo de palanca

$$M_n = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Sustituyendo se tiene:

$$\frac{Mu}{\phi} = As \times fy \times \left(d - \frac{As \times fy}{1.70 f'c \times b} \right)$$

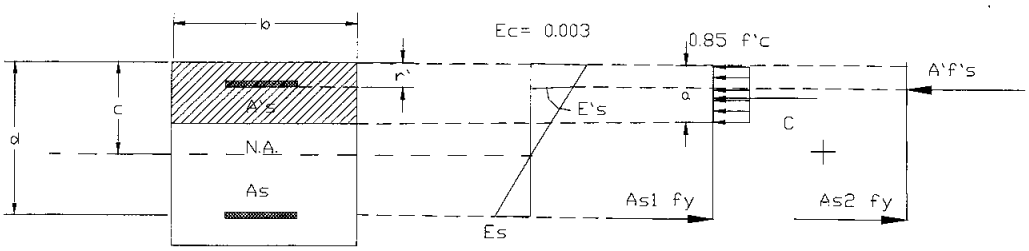
Reorganizando y despejando se obtiene el área de acero a tensión requerida:

$$\frac{fy}{1.70 f'c \times b} As^2 - d \times As + \frac{Mu}{\phi \times fy}$$

$$As = \frac{d + \sqrt{d^2 - 4\frac{fy}{1.70 f'c \times b} \times \frac{Mu}{\phi \times fy}}}{\frac{2fy}{1.70 f'c \times b}}$$

Cuando la cantidad de acero a tracción excede el 75% de la requerida para la condición balanceada se diseñara la sección como doblemente armada acorde con las siguientes fórmulas:

Cuando As>αAsb



SECCION DEFORMACIONES ESFUERZO FUERZAS

$$\alpha \times cb = \frac{0.003\alpha}{0.003 + \frac{fy}{Es}}$$

$$\beta = 0.85 \qquad f'c \leq 280 kg/cm^2$$

$$\beta = 1.05 - \frac{f'c}{1400} \geq 0.65 \qquad f'c > 280 kg/cm^2$$

$$a = \beta \times \alpha \times cb$$

$$As_1 = \frac{0.85 f'c \times a \times b}{fy}$$

$$M_1 = As_1 \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$f's = \frac{0.003 \times Es \times (\alpha \times cb - r')}{\alpha \times cb} \leq fy$$

$$M_2 = \frac{Mu}{\phi} - M_1$$

$$As = As_1 + \frac{M_2}{fy(d - r')}$$

$$A's = \frac{M_2}{fs'(d - r')}$$

Las áreas calculadas no serán menores al área de acero mínima:

$$Asmin = \frac{14}{fy} \times b \times d$$

Una vez determinada el área de acero el programa posee subrutinas en que selecciona el diámetro y la separación optima de las barras de refuerzo.

6. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

El programa posee dos opciones, en la opción revisión se conoce las dimensiones de la zapata y las incógnitas son los esfuerzos del suelo, en el caso de diseño adicionalmente se tiene la geometría de la zapata como incógnita.

6.1 INTRODUCCION DE DATOS

Para la introducción de datos debe considerarse los ejes de referencia indicados en la figura 7

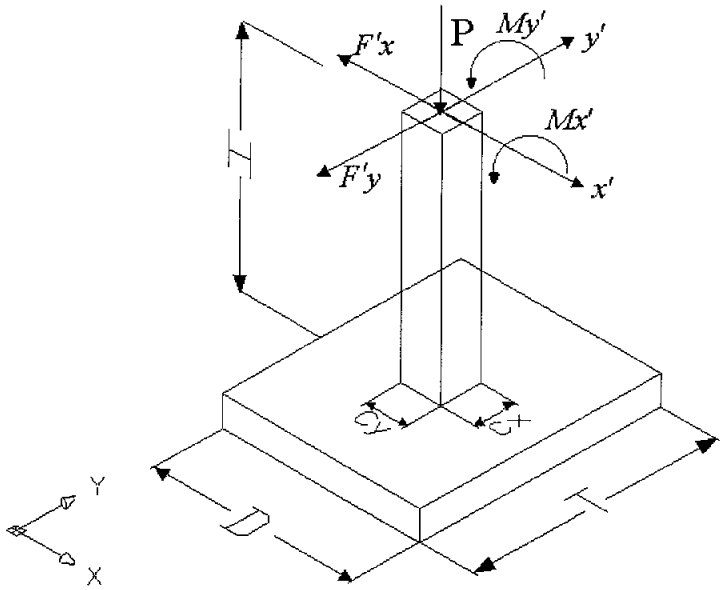


Figura 7. Consideraciones de carga y momentos positivos.

Seleccione el archivo denominado FUN, el cual se encuentra bajo el formato de Microsoft Excel

Habilitar marcos

El programa solicitara la siguiente información:

- **Si desea Diseñar: 1**
- **Si desea Revisar: 0**

  Introduzca uno o cero dependiendo de su opción

  En el caso de diseño deberá introducir la información requerida en las casillas de fondo amarillo, en la caso de revisión adicionalmente deberá introducir la información requerida en las casillas de fondo verde, los resultados aparecerán después de presionar el botón de "Análisis".
- **Dimensión de la zapata según X (m)**
- **Dimensión de la zapata según Y (m)**
- **Dimensión del pedestal según eje X (m)**
- **Dimensión del pedestal según eje Y (m)**
- **Profundidad de la fundación (m)**

  Debe colocarse la distancia desde el asiento de la zapata hasta la superficie final del terreno; en el caso superficie final este a distintas cotas deberá correr el programa con los casos extremos.
- **Carga Axial (kg):**

  Coloque la carga axial positiva si comprime la zapata, en caso de tracción el programa no contempla esta opción y la información proporcionada será errónea.
- **Momento alrededor de X (kgm)**

  Momento alrededor del eje X en el tope del pedestal.
- **Momento alrededor de Y (kgm)**

  Momento alrededor del eje Y en el tope del pedestal.
- **Fuerza horizontal según X (kg)**

  Fuerza horizontal según X aplicada en el tope del pedestal.
- **Fuerza horizontal según Y (kg)**

  Fuerza horizontal según Y aplicada en el tope del pedestal.
- **Factor de mayoración por rotura**

  El factor de mayoración es la relación entre la carga mayorada para condiciones últimas y la carga en condiciones de servicio, por ejemplo:

  $\mathrm{FM} = \dfrac{1.4\mathrm{CM} + 1.6\mathrm{CV}}{CM + CV}$ en donde CM=Carga permanente y CV=Carga variable
- **Esfuerzo a Compresión del Concreto (kg/cm^2)**

  Esfuerzo característico a compresión de cilindros normalizados de concreto a los 28 días.
- **Esfuerzo de Cedencia del Acero (kg/cm2)**

  Esfuerzo en el límite elástico convencional del 0,2%.
- **Esfuerzo Admisible del Suelo (kg/cm2)**

  El esfuerzo máximo admisible del suelo (teoría elástica).

6.2 RESULTADOS

- **Espesor de la zapata (m)**

  El programa determinará el espesor requerido de la losa de la fundación para evitar una falla por corte o punzonado, el espesor mínimo es de 30 cm.

- **Esfuerzo del Suelo en los vértices (kg/cm2)**

  El programa determina los esfuerzos en los cuatro vértices de la zapata, la información proporcionada esta ordenada en forma tal, que para un caso genérico, en el vértice inferior izquierdo ocurre el máximo esfuerzo, y el mínimo esfuerzo ocurre en el vértice superior derecho, teniendo niveles intermedios de esfuerzos los otros dos vértices. En casos particulares los cuatros vértices pueden tener el mismo nivel de esfuerzo, o los dos vértices inferiores o los dos vértices derechos pueden tener esfuerzos iguales al máximo.

  Este orden se debe a que el programa considera las excentricidades resultantes siempre negativas a objeto de trabajar con zonas comprimidas como las mostradas en la sección 5.5.

- **Diseño del acero de refuerzo**

  El programa proporciona el diámetro y la separación requerida del refuerzo superior e inferior en ambas direcciones.

A continuación se presenta la hoja de cálculo a ser utilizada, debe habilitar los macros para ejecutar el diseño y análisis.

En la hoja de cálculo las casillas amarilla representan los datos que deben ser introducidos, las casillas verdes deben ser introducidas solo en el caso de revisión, en el caso de diseño presentarán las dimensiones de la fundación seleccionada en el cálculo y las casillas blancas representan los resultados obtenidos.

6.3 EJEMPLOS

6.3.1 Ejemplo de diseño

ANÁLISIS DE FUNDACIONES DIRECTAS

DESEA DISEÑAR (1) O REVISAR (0) 1

Analizar

Características Geométricas

Dimensión de la zapata según X	2.58	m
Dimensión de la zapata según Y	3.10	m
Dimensión del pedestal según X	35.0	cm
Dimensión del pedestal según Y	35.0	cm
Profundidad de asiento de la fundación	1.00	m
Espesor de la zapata	0.35	m

Acciones de diseño

Carga Axial	20000.00	kg
Momento alrededor de X	15000.00	kgm
Momento alrededor de Y	10000.00	kgm
Fuerza horizontal según X	5000.00	kg
Fuerza horizontal según Y	3000.00	kg
Factor de mayoración a rotura	1.55	

Características de los materiales

Esfuerzo a compresión del concreto	300	kg/cm^2
Esfuerzo a cedencia del acero	4200	kg/cm^2
Esfuerzo admisible del suelo	1.50	kg/cm^2

Esfuerzo del suelo en los vertices

Vertice inferior izquierdo	1.44	kg/cm^2
Vertice inferior derecho	0.40	kg/cm^2
Vertice superior derecho	0.00	kg/cm^2
Vertice superior izquierdo	0.40	kg/cm^2

Características de la zona comprimida de la zapata

Coordenada X del eje neutro	3.57	m
Coordenada Y del eje neutro	4.28	m
Área comprimida	6.54	m^2
Área Traccionada	1.45	m^2
Relación area a tracción vs area total	18	%

Diseño del acero	Diametro	Separación (cm)
Acero superior en la dirección X	3	25
Acero inferior en la dirección X	4	10
Acero superior en la dirección Y	3	20
Acero inferior en la dirección Y	5	10

6.3.2 Ejemplo de revisión

ANÁLISIS DE FUNDACIONES DIRECTAS

DESEA DISEÑAR (1) O REVISAR (0) 0

Analizar

Características Geométricas

Dimensión de la zapata según X	3.00 m
Dimensión de la zapata según Y	3.50 m
Dimensión del pedestal según X	35.0 cm
Dimensión del pedestal según Y	35.0 cm
Profundidad de asiento de la fundación	1.00 m
Espesor de la zapata	0.30 m

Acciones de diseño

Carga Axial	20000.00 kg
Momento alrededor de X	15000.00 kgm
Momento alrededor de Y	10000.00 kgm
Fuerza horizontal según X	5000.00 kg
Fuerza horizontal según Y	3000.00 kg
Factor de mayoración a rotura	1.55

Características de los materiales

Esfuerzo a compresión del concreto	300 kg/cm^2
Esfuerzo a cedencia del acero	4200 kg/cm^2
Esfuerzo admisible del suelo	1.50 kg/cm^2

Esfuerzo del suelo en los vertices

Vertice inferior izquierdo	0.98 kg/cm^2
Vertice inferior derecho	0.37 kg/cm^2
Vertice superior derecho	0.00 kg/cm^2
Vertice superior izquierdo	0.38 kg/cm^2

Características de la zona comprimida de la zapata

Coordenada X del eje neutro	4.92 m
Coordenada Y del eje neutro	5.59 m
Área comprimida	3.88 m^2
Área Traccionada	0.62 m^2
Relación area a tracción vs area total	6 %

Diseño del acero	Diametro	Separación (cm)
Acero superior en la dirección X	3	15
Acero inferior en la dirección X	4	10
Acero superior en la dirección Y	3	12.5
Acero inferior en la dirección Y	5	10

7. CONCLUSIONES:

Se analizan las fundaciones directas en donde el uso de conceptos básicos de las propiedades de las áreas permite la resolución de problemas complejos de zapatas que se levantan por una o dos esquinas.

Se logra reducir a dos series de formulaciones genéricas 10 casos de áreas comprimidas con distintas geometrías.

Se desarrollan herramientas de optimización de selección de diámetros y separaciones de refuerzo para un área de refuerzo requerida.

Se dispone de una herramienta útil para el cálculo de fundaciones directas, permitiendo el ahorro de tiempo en los procesos de diseño.

8. RECOMENDACIONES:

El programa puede integrarse a programas de dibujo que utilicen variables paramétricas, de forma tal que proporcione el dibujo de planta y secciones con sus dimensiones y refuerzo.

El programa puede mejorarse en forma tal que diseñe fundaciones sometidas a tracción, revise el volcamiento y deslizamiento.

El programa puede mejorarse considerando zapatas con espesor variable.

El programa ha sido verificado exhaustivamente, sin embargo siempre existe una posibilidad que los resultados obtenidos no represente el comportamiento de la fundación o la solución no converja, por lo tanto al igual que ocurre con todos los software, el ingeniero es responsable de la interpretación adecuada y validación de los resultados obtenidos.

ANEXO
LISTADO DEL MACRO

```
Private Sub Analizar_Click()
'
' Macro1 Macro
' Macro grabada el 07/06/2005 por Jose Noriega'
Sheets("Hoja1").Activate
10 '*****************************************************************
20 '     PROGRAMA DE FUNDACIONES SOMETIDAS A FLEXOCOMPRESION
ESVIADA.
30 '    ELABORADO POR ING JOSE ANTONIO NORIEGA H.
40 '                1. VERSION SEP 85
50 '                2. VERSION AGO 87
Rem                 3. VERSION JUN 05
Rem                 4. VERSION DIC 13
60 '*****************************************************************
175 Rem Print " CARACTERISTICAS GEOMETRICAS "
176 Rem Print " ========================== "
177 DI = Range("DI").Value
178 If DI = 1 Then GoTo 200
180 Rem DIMENSION DE LA ZAPATA SEGUN X (MT) .. :";D
190 Rem DIMENSION DE LA ZAPATA SEGUN Y (MT) .. :";T
Rem DIMENSION DEL PEDESTAL SEGUN X (CM) .. :";CX
Rem DIMENSION DEL PEDESTAL SEGUN Y (CM) .. :";CY
Rem PROFUNDIDAD DE ASIENTO DE LA FUND. (MT) : ";H
Rem CLS
DA = Range("D").Value
T = Range("T").Value
200 CX = Range("CX").Value
CY = Range("CY").Value
H = Range("H").Value
230 Rem Print " ACCIONES DE DISENO "
240 Rem Print " ================= "
260 Rem CARGA AXIAL (KGS) ............. : ";P
270 Rem MOMENTO ALREDEDOR DE X (KG*M) ... : ";MX
```

```
280 Rem MOMENTO ALREDEDOR DE Y (KG*M) ... : ";MY
290 Rem FUERZA HORIZONTAL SEGUN X (KG) .. : ";FHX
300 Rem FUERZA HORIZONTAL SEGUN Y (KG) .. : ";FHY
P = Range("P").Value
MX = Range("MX").Value
MY = Range("MY").Value
FHX = Range("FHX").Value
FHY = Range("FHY").Value
FMR = Range("FMR").Value
Rem 320 FACTOR DE MAYORACION A ROTURA ... : ";FMR
Rem 340 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES "
Rem  ================================ "
Rem ESFUERZO A COMPRESION DEL CONCRETO (KG/CM2) : ";FC
Rem ESFUERZO DE CEDENCIA DEL ACERO (KG/CM2) ... : ";FY
Rem ESFUERZO ADMISIBLE DEL SUELO (KG/CM2) ..... : ";FS
FC = Range("FC").Value
FY = Range("FY").Value
FS = Range("FS").Value
400 IPAG = 1
410 IP = 0
420 N = 1
430 P1 = P
Rem Peso del suelo PS
440 PS = 1900
450 MX = Abs(MX + H * FHY)
460 MY = Abs(MY + H * FHX)
470 EX = MY / P
480 EY = MX / P
490 FS = FS * 10000
500 N = 0
510 If DI = 0 Then GoTo 600
515 Rem GEOMETRIA INICIAL
530 T = 12 * EY
540 DA = 12 * EX
550 If T < 1 Then T = 1
```

```
560 If DA < 1 Then DA = 1
570 Rem RELACIONES GEOMETRICAS MAXIMAS
580 If DA / T > 1.5 Then T = DA / 1.5
600 If T / DA > 1.5 Then DA = T / 1.5
610 P = P1 + PS * DA * T * H
620 EX = MY / P
630 EY = MX / P
640 XP = DA / 2 - EX
650 YP = T / 2 - EY
660 A = 2 * DA
670 B = 2 * T
680 QA = 0
690 S1 = A - DA
700 S2 = B - T
710 If EX <> 0 Or A / B < 9999 Then GoTo 750
720 S1 = 0
730 QA = 1
740 A = 9999
750 If EY <> 0 Or B / A < 9999 Then GoTo 790
760 S2 = 0
770 QA = 1
780 B = 9999
790 If AA = 9999 Or BB = 9999 Then QA = 1
800 If QA <> 0 Then GoTo 950
810 If DA > A / B * (B - T) Then GoTo 860
820 QA = 1
830 S1 = 0
840 S2 = 0
850 GoTo 950
860 If S1 < 0 Then S1 = 0
870 If S2 < 0 Then S2 = 0
880 ARE = A * B / 2 * (1 - (S1 / A) ^ 2 - (S2 / B) ^ 2)
890 QOX = A / 6 * B ^ 2 * (1 - (S1 / A) ^ 3 - (S2 / B) ^ 3 - 3 * T / B * (S2 / B) ^ 2)
900 QOY = A ^ 2 * B / 6 * (1 - (S1 / A) ^ 3 - (S2 / B) ^ 3 - 3 * DA / A * (S1 / A) ^ 2)
```

```
910 IOX = A / 12 * B ^ 3 * (1 - (S1 / A) ^ 4 - (S2 / B) ^ 4 - 2 * T / B * (2 * B + T) / B * (S2 /
B) ^ 2)
920 IOY = B / 12 * A ^ 3 * (1 - (S1 / A) ^ 4 - (S2 / B) ^ 4 - 2 * DA / A * (2 * A + DA) / A *
(S1 / A) ^ 2)
930 IXY = (A * B) ^ 2 / 24 * (1 - (S1 / A) ^ 4 - (S2 / B) ^ 4 - 4 * DA / A * (S1 / A) ^ 3 - 4 *
T / B * (S2 / B) ^ 3)
940 GoTo 1030
950 If S1 > 0 Then S1 = 0
960 If S2 > 0 Then S2 = 0
970 ARE = DA * T + S2 * DA + S1 * T
980 QOX = DA * T ^ 2 / 2 + S2 * DA / 2 * (T + B) + S1 * T ^ 2 / 2
990 QOY = T * DA ^ 2 / 2 + S1 * T / 2 * (DA + A) + S2 * DA ^ 2 / 2
1000 IOX = DA * T ^ 3 / 3 + DA / 12 * S2 ^ 3 + S2 * DA / 4 * (T + B) ^ 2 + S1 / 3 * T ^ 3
1010 IOY = T * DA ^ 3 / 3 + T / 12 * S1 ^ 3 + S1 * T / 4 * (DA + A) ^ 2 + S2 / 3 * DA ^ 3
1020 IXY = (T * DA / 2) ^ 2 + S2 * DA ^ 2 / 4 * (T + B) + S1 * T ^ 2 / 4 * (DA + A)
1030 K1 = IXY - YP * QOY
1040 K2 = IXY - XP * QOX
1050 K3 = IOX - YP * QOX
1060 K4 = IOY - XP * QOY
1070 K5 = QOX - YP * ARE
1080 K6 = QOY - XP * ARE
1090 S3 = K2 * K5 - K3 * K6
1100 S4 = K1 * K6 - K4 * K5
1110 If Int(Abs(S3 * 10000)) = 0 Then AA = 9999 Else AA = (K1 * K2 - K3 * K4) / S3
1120 If Int(Abs(S4 * 10000)) = 0 Then BB = 9999 Else BB = (K1 * K2 - K3 * K4) / S4
1130 If Abs(AA) > 9999 Then AA = 9999
1140 If Abs(BB) > 9999 Then BB = 9999
1142 Rem LPRINT A;B;AA;BB
1143 Rem LPRINT ARE;QOX;QOY;IOX;IOY;IXY
1144 Rem LPRINT K1;K2;K3;K4;K5;K6
1145 Rem LPRINT S1;S2;S3;S4
1146 Rem LPRINT XP;YP
1150 N = N + 1
1160 Rem LPRINT " # DEL CICLO ";N
1170 Rem LPRINT " LARGO :";D
1180 Rem LPRINT " ANCHO :";T
```

```
1190 Rem LPRINT " A :";A
1200 Rem LPRINT " B :";B
1210 Rem LPRINT " AA:";AA
1220 Rem LPRINT " BB:";BB
1230 Rem LPRINT " Q :";Q
1240 If Abs(B - BB) * 10 / B < 0.5 Then GoTo 1280
1250 A = AA
1260 B = BB
1270 GoTo 680
1280 If Abs(A - AA) * 10 / A < 0.5 Then GoTo 1320
1290 A = AA
1300 B = BB
1310 GoTo 680
1320 If AA = 9999 Then S5 = 0 Else S5 = QOY / AA
1330 If BB = 9999 Then S6 = 0 Else S6 = QOX / BB
1340 F0F = P / (ARE - S5 - S6)
1350 Rem LPRINT "ESFUERZO MAXIMO =";F0F
1360 If DI = 0 Then GoTo 1440
1370 If F0F < FS And AA = 1 And BB = 1 Then GoTo 1440
1380 If Abs(F0F - FS) / FS < 0.05 Then GoTo 1440
1390 AL = 1 + (F0F / FS - 1) / 10
1400 DA = DA * AL
1410 T = T * AL
1420 N = 0
1430 GoTo 610
1440 If A = 9999 Then AA = 9000000!
1450 If B = 9999 Then BB = 9000000!
1460 F3F = F0F * (1 - DA / AA)
1470 If F3F < O Then F3F = -0.001
1480 F1F = F0F * (1 - T / BB)
1490 If F1F < O Then F1F = -0.001
1500 F2F = F0F * (1 - DA / AA - T / BB)
1510 If F2F < 0 Then F2F = -0.001
1520 If AA = 9000000! Then AA = 9999
1530 If BB = 9000000! Then BB = 9999
```

```
1540 ART = DA * T - ARE
1550 RAR = ART / DA / T
1560 FO1 = (F0F - PS * H) / 10000
1570 A3 = DA * 100
1580 B3 = T * 100
1590 Rem CALCULO DE ESPESOR POR CORTE DEBIDO A FLEXION
1600 FS1 = FO1 * FMR
1610 D1 = (FS1 * (A3 - CX)) / 2 / (FS1 + 0.45 * Sqr(FC))
1620 D3 = FS1 * (B3 - CY) / 2 / (FS1 + 0.45 * Sqr(FC))
1625 Rem LPRINT "d1=";D1
1626 Rem LPRINT "D3=";D3
1630 If D3 > D1 Then D1 = D3
1640 Rem CALCULO DE ESPESOR POR CORTE DEBIDO A PUNZONAMIENTO
1650 R1 = CX / CY
1660 If R1 < 1 Then R1 = 1 / R1
1670 FAP = 0.53 + 1.06 * R1
1680 If FAP > 1.06 Then FAP = 1.06
1690 FAP = FAP * 0.85 * Sqr(FC) / FS
1700 D2 = (Sqr(((CX + CY) * (2 * FAP + 1)) ^ 2 - 4 * (4 * FAP + 1) * (CX * CY - DA * T))
- (CX + CY) * (2 * FAP + 1)) / 2 / (FAP * 4 + 1)
1705 Rem LPRINT "D2=";D2
1710 If D2 > D1 Then D1 = D2
1720 If D1 < 22.5 Then D1 = 22.5
1730 HZ = D1 + 7.5
1740 Rem REDONDEO DEL ESPESOR
1745 H12 = 0
1750 H11 = Int(HZ / 10) * 10
1760 If H11 <> HZ Then H12 = HZ - H11
1770 If H12 > 5 Then HZ = H11 + 10
1780 If H12 < 5 And H12 <> 0 Then HZ = H11 + 5
1790 Rem LPRINT "ALTURA:";HZ
1800 Rem DISENO DEL ACERO.
Range("ISX").Value = " "
Range("SSX").Value = " "
Range("IIX").Value = " "
```

```
Range("SIX").Value = " "
Range("ISY").Value = " "
Range("SSY").Value = " "
Range("IIY").Value = " "
Range("SIY").Value = " "
1810 H = H * 100
1820 PS = PS / 1000000!
1830 CC = FO1 / 2 * (A3 / 2 - CX / 2) ^ 2 * 100
1840 B = 100
1860 R = 7.5
1870 SEP = 2
1880 M = CC
1890 GoSub 5000
1900 AIX = AST
1910 ASX = ASC1
1920 AR = AIX
1930 GoSub 6000
1940 IIX = III
1950 SIX = SF
1960 If F2F <> -0.001 Then GoTo 2030
1970 CP = PS * H / 2 * (A3 / 2 - CX / 2) ^ 2 * 100
1980 M = CP
1990 GoSub 5000
2000 AS2 = AST
2010 AI2 = ASC1
2020 If AS2 > ASX Then ASX = AS2
2030 If ASX <= 0 Then GoTo 2080
2040 AR = ASX
2050 GoSub 6000
2060 SSX = SF
2070 ISX = III
2080 Rem CALCULO DEL ACERO EN LA DIRECCION Y
2090 CQ = FO1 / 2 * (B3 / 2 - CY / 2) ^ 2 * 100
2100 M = CQ
2110 GoSub 5000
```

```
2120 AIY = AST
2130 ASY = ASC1
2140 AR = AIY
2150 GoSub 6000
2160 SIY = SF
2170 IIY = III
2180 If F2F <> -0.001 Then GoTo 2240
2190 CR = PS * H / 2 * (B3 / 2 - CY / 2) ^ 2 * 100
2200 M = CR
2210 GoSub 5000
2220 AS3 = AST
2230 AI3 = ASC1
2240 If ASY < AS3 Then ASY = AS3
2250 If ASY <= 0 Then GoTo 2300
2260 AR = ASY
2270 GoSub 6000
2280 SSY = SF
2290 ISY = III
2535 FS = FS / 10000
Range("D").Value = DA
Range("T").Value = T
2605 H = H / 100
2610 HZ = HZ / 100
2620 CX = CX / 100
2630 CY = CY / 100
Range("HZ").Value = HZ
2680 F0F = F0F / 10000
2690 F1F = F1F / 10000
2700 F2F = F2F / 10000
2710 F3F = F3F / 10000
2740 Rem ESFUERZO DEL SUELO EN LOS VERTICES."
2760 Rem VERTICE INFERIOR IZQUIERDO ..... = ##.## Kg/cm2";F0F
2770 Rem VERTICE INFERIOR DERECHO ..... = ##.## Kg/cm2";F1F
2780 Rem VERTICE SUPERIOR DERECHO ..... = ##.## Kg/cm2";F2F
2790 Rem VERTICE SUPERIOR IZQUIERDO ..... = ##.## Kg/cm2";F3F
```

```
2810 Rem COORDENADA X DEL EJE NEUTRO ..... =####.## mt";AA
2820 Rem COORDENADA Y DEL EJE NEUTRO ..... =####.## mt";BB
2840 Rem AREA COMPRIMIDA ................... = ###.## mt2";ARE
2850 Rem AREA TRACCIONADA ................... = ###.## mt2";ART
Range("F0F").Value = F0F
Range("F1F").Value = F1F
Range("F2F").Value = F2F
Range("F3F").Value = F3F
Range("AA").Value = AA
Range("BB").Value = BB
Range("ARE").Value = ARE
Range("ART").Value = ART
2855 RAR = RAR * 100
Rem RELACION AREA A TRACCION VS. TOTAL . = ###.# %";RAR
Range("RAR").Value = RAR
2890 Rem LPRINT "      DISENO DEL ACERO."
2910 If ASX = 0 Then GoTo 2950
2920 Rem ACERO SUPERIOR EN LA DIRECCION X"
2930 Rem 1 CABILLA N # @ ##.# cms";ISX;SSX
Range("ISX").Value = ISX
Range("SSX").Value = SSX
2950 Rem ACERO INFERIOR EN LA DIRECCION X"
2960 Rem 1 CABILLA N # @ ##.# cms";IIX;SIX
Range("IIX").Value = IIX
Range("SIX").Value = SIX
2980 If ASY = 0 Then GoTo 3020
2990 Rem ACERO SUPERIOR EN LA DIRECCION Y"
3000 Rem 1 CABILLA N # @ ##.# cms";ISY;SSY
Range("ISY").Value = ISY
Range("SSY").Value = SSY
3020 Rem ACERO INFERIOR EN LA DIRECCION Y"
3030 Rem 1 CABILLA N # @ ##.# cms";IIY;SIY
Range("IIY").Value = IIY
Range("SIY").Value = SIY
3040 End
```

```
5000 Rem SUBRUTINA PARA CALCULAR ACERO EN SECCIONES RECTANGULARES"
5010 Rem FC=RESISTENCIA DEL CONCRETO,FY=PTO CEDENTE DEL ACERO.
5020 Rem B=BASE. H=ALTURA, R=RECUBRIMIENTO, S=1 EN ZONA SISNICA
5030 Rem Y S=2 EN ZONA NO SISMICA, M=MOMENTO SIN MAYORAR A ROTURA
5040 Rem FMR=FACTOR DE MAYORACION A ROTURA, AST=AREA DE ACERO A TRACCION,
5050 Rem ASC=AREA DE ACERO A COMPRESION.
5060 EC = 0.003
5070 ES = 2100000!
5080 FI = 0.9
5090 RM = 0.75
5100 D5 = HZ - R
5110 EY = FY / ES
5120 CB = EC * D5 / (EC + EY)
5130 BE = 0.85
5140 If FC > 280 Then BE = 1.05 - FC / 1400
5150 If BE < 0.65 Then BE = 0.65
5160 AL = 0.85 * BE * FC * B
5170 MB = AL * CB * (D5 - CB * BE / 2)
5180 MR = M * FMR / FI
5190 If MR > (RM * MB) Then GoTo 5230
5200 AST = AL * D5 * (1 - Sqr(1 - 2 * MR * BE / AL / (D5 ^ 2))) / BE / FY
5210 ASC1 = 0
5220 GoTo 5310
5230 ASB = AL * CB / FY
5240 FSC = EC / CB * (CB - R) * ES
5250 If CB > R Then GoTo 5280
5260 Rem CUADROMSJ " SOLUCION IMPOSIBLE, RECUBRIMIENTO SUPERIOR MAYOR A ZONA A COMPRESION"
5270 Stop
5280 If FSC > FY Then FSC = FY
5290 ASC1 = (M * FMR - RM * MB) / FI / FSC / (D5 - R)
5300 AST = RM * ASB + ASC1 * FSC / FY
5310 ASM = 14 * B * D5 / FY
5320 If SEP = 1 And ASC1 < ASM Then ASC1 = ASM
```

```
5330 If SEP = 1 And ASC1 < AST Then AST = ASM
5340 If SEP = 1 Then GoTo 5370
5350 If ASM > (AST * 1.33) Then ASM = AST * 1.33
5360 If AST < ASM Then AST = ASM
5370 Rem
5380 Return
6000 Rem SUBRUTINA PARA DISTRIBUIR ACERO
6010 Rem
6020 Rem AR=AREA REQUERIDA POR METRO.
6030 Rem D(I)=AREA DE CABILLA DE DIAMETRO I
6040 Rem II DIAMETRO MAXIMO DE CABILLA
6050 Rem S(J) SEPARACION TIPO J
6060 Rem JJ NUMERO DE SEPARACIONES
6070 Rem CF SEPARACION FINAL
6080 Rem III DIAMETRO FINAL
6090 Rem ****************************************************************
6100 Rem DEFINICION DE LOS DIAMETROS A USAR , EN CASO NECESARIO, PARA ELIMINAR
6110 Rem DIAMETROS COLOCAR EL AREA IGUAL A CERO.
6130 D(1) = 0
6140 D(2) = 0
6150 D(3) = 0.71
6160 D(4) = 1.27
6170 D(5) = 1.98
6180 D(6) = 2.54
6190 D(7) = 3.96
6200 D(8) = 5.07
6210 II = 8
6220 Rem DEFINICION DE LAS SEPARACIONES A USAR, PUEDE SER MODIFICADO DE ACUERDO
6230 Rem A LAS NECESIDADES DEL USUARIO. DEBEN SER ORDENADOS DE MENOR A MAYOR
6240 S(1) = 10
6250 S(2) = 12.5
6260 S(3) = 15
6270 S(4) = 20
```

```
6280 S(5) = 25
6290 JJ = 5
6300 Rem SELECCION DE LOS VALORES EXTREMOS
6310 Rem CASO A: EL ACERO REQUERIDO ES MENOR QUE LA MENOR CABILLA
A LA MAXIMA SEPARACION, SE COLOCARA LA MENOR CABILLA A LA
SEPARACION MAXIMA.
6340 Rem CASO B: EL ACERO REQUERIDO ES MAYOR QUE LA MAYOR CABILLA
A LA MINIMA SEPARACION, SE CALCULARA LA SEPARACION NECESARIA.
6360 If AR > D(3) * 100 / S(JJ) Then GoTo 6370
6362 III = 3
6364 SF = S(JJ)
6366 DF = D(3)
6368 GoTo 6730
6370 If AR < D(II) * 100 / S(1) Then GoTo 6380
6372 SF = D(II) / AR * 100
6374 III = II
6376 GoTo 6730
6380 Rem CALCULO DE LA SEPARACION MAXIMA PARA CADA DIAMETRO.
6390 For I = 3 To II
6400 QF(I) = 9999
6410 QS(I) = 0
6420 If D(I) = 0 Then GoTo 6500
6430 For J = 1 To JJ
6440 Q(I) = D(I) * 100 / S(J) - 0.9 * AR
6450 If Q(I) <= 0 Then GoTo 6490
6460 If Q(I) > QF(I) Then GoTo 6490
6470 QS(I) = S(J)
6480 QF(I) = Q(I)
6490 Next J
6500 Next I
6510 Rem SELECCION DEL MINIMO DIAMETRO A LA MAXIMA SEPARACION SI SU
AREA
6520 Rem  ES +-10% DEL AREA REQUERIDA.
6530 SF = 0
6540 For I = 3 To II
6550 If D(I) = 0 Then GoTo 6600
```

```
        6560 If Abs(D(I) * QS(I) - AR) / AR > 0.1 Then GoTo 6600
        6570 If SF >= QS(I) Then GoTo 6600
        6580 SF = QS(I)
        6590 III = I
        6600 Next I
        6610 If SF <> 0 Then GoTo 6730
        6620 Rem SELECCION DEL DIAMETRO Y SEPARACION SI EL AREA A COLOCAR
        6630 Rem DIFIERE MAS DEL 10% DEL AREA REQUERIDA, BASANDOSE EN LA
        6640 Rem SOLUCION MAS ECONOMICA
        6650 DF = 9999
        6660 For I = 3 To II
        6670 If D(I) = 0 Then GoTo 6720
        6680 If DF <= QF(I) Then GoTo 6720
        6690 DF = QF(I)
        6700 III = I
        6710 SF = QS(I)
        6720 Next I
        6730 Return
End Sub
```