

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY**

CAMPUS MONTERREY

**DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**SOFTWARE EDUCATIVO PARA EL ANALISIS Y
DISEÑO DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO**

T E S I S
**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA CIVIL
CON ACENTUACION EN INGENIERIA ESTRUCTURAL**

HUMBERTO LOPEZ SALGADO

MONTERREY, N. L.

MAYO DEL 2000

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
MONTERREY**

CAMPUS MONTERREY

DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA



**SOFTWARE EDUCATIVO PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE ELEMENTOS
DE CONCRETO REFORZADO**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

**ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA CIVIL
CON ACENTUACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL**

HUMBERTO LÓPEZ SALGADO

MONTERREY, N. L.

MAYO DE 2000

Agradecimientos

A mis padres, por el apoyo incondicional que me han brindado, sus sabios consejos y el sacrificio que han realizado para concluir con éxito mis estudios.

A mi esposa, por su cariño, comprensión y apoyo durante esta etapa de mi vida.

A mi niña, por ser el motor que me ha impulsado en los momentos difíciles.

A mi asesora, Ing. Delma Almada por todo su apoyo para concluir con éxito este proyecto.

A mis profesores, Dr. Francisco Yeomans, Dr. Felipe Orozco, Dr. Sergio Gallegos e Ing. Carlos Nungaray por haberme brindado las herramientas para ganarme la vida.

Al Departamento de Ingeniería Civil, por haberme brindado la oportunidad de colaborar como asistente de docencia durante mi maestría.

A todos aquellos que de alguna manera colaboraron en la elaboración de este proyecto de tesis.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1.	INTRODUCCIÓN	1
	1.1 Antecedentes	1
	1.2 Propósito y alcance	1
	1.3 Visual Basic 5	2
	1.4 Contenido del programa	2
CAPÍTULO 2.	ANÁLISIS DE VIGAS	4
	2.1 Análisis matricial	4
	2.2 Diagramas de Corte y Momento	10
	2.3 Módulo interactivo	12
CAPÍTULO 3.	FLEXIÓN EN VIGAS	16
	3.1 Suposiciones de diseño	16
	3.2 Revisión de vigas	17
	3.3 Revisión-diseño de vigas	25
	3.4 Gráfica Momento Resistente Vs. Curvatura	29
	3.5 Estudios de sensibilidad	30
CAPÍTULO 4.	CORTANTE EN VIGAS	31
	4.1 Diseño de refuerzo por cortante	31
	4.2 Croquis de diseño	34
CAPÍTULO 5.	COLUMNAS	36
	5.1 Suposiciones de diseño	37
	5.2 Diagrama de interacción	38
	5.3 Revisión-diseño de columnas	46
	5.4 Revisión de columnas	51

CAPÍTULO 6.	MANUAL DEL USUARIO	52
	6.1 Menú principal	52
	6.2 Menú de análisis	53
	6.3 Menú de flexión	64
	6.4 Menú de cortante	72
	6.5 Menú de columnas	74
RECOMENDACIONES.		77
BIBLIOGRAFIA		78

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Desde los inicios de la Ingeniería Civil, se han desarrollado herramientas que facilitan el proceso de análisis y diseño de estructuras, como por ejemplo Tablas, Nomogramas, Métodos simplificados, Hojas de Cálculo, etc.

En la actualidad existe software comercial con el que se puede hacer el análisis y diseño de estructuras prácticamente de cualquier tipo y grado de complejidad, de una manera relativamente fácil, siempre y cuando el usuario sea experto en el manejo del mismo y además cuente con una amplia experiencia en la materia. Por mencionar algunos: Robot, Trivilog, Prokon Structural Analysis, STAAD III, Structural Expert Series, RISA, etc.

Recientemente se ha desarrollado software orientado al aprendizaje en algunas universidades de Estados Unidos y en la Unión Europea, pero no se tiene disponible comercialmente. La dificultad que tienen los alumnos en asimilar ciertos temas que forman las bases en algunos cursos básicos de las carreras de Ingeniería Civil y Arquitectura, ha motivado a desarrollar un software educativo orientado a los alumnos que apenas inician su formación en el área de análisis y diseño de estructuras, para que cuenten con una herramienta que facilite el proceso de enseñanza. Este software está diseñado para promover el autoaprendizaje, y dar apoyo a los cursos de Resistencia de Materiales, Mecánica de Sólidos, Análisis Estructural y Concreto Reforzado.

1.2 PROPÓSITO Y ALCANCE

El objetivo de esta tesis es desarrollar un software educativo que facilite el aprendizaje a los alumnos de las carreras de Ingeniería Civil y Arquitectura, en los cursos relacionados con el análisis de vigas isostáticas e hiperestáticas y con el diseño de elementos de concreto reforzado. Los conceptos teóricos que se reforzarán con el uso del software educativo son de gran impacto en el resto de su formación profesional.

1.3 VISUAL BASIC 5

El programa ha sido desarrollado en el lenguaje de programación Visual Basic 5.0, una poderosa herramienta para el desarrollo de aplicaciones con el sistema operativo de Microsoft Windows. El Visual Basic permite desarrollar un eficiente ambiente interactivo y amigable para el usuario, el cual puede operar el programa mediante el ratón y teclado de su computadora utilizando menús, ventanas, botones, etc. El Visual Basic no solo incluye un lenguaje de programación familiar y accesible, tan poderoso como los Lenguajes Fortran, C++ o Pascal, sino también una extensa serie de herramientas que facilitan al programador diseñar la interfaz con el usuario. Con el Visual Basic, el programador genera automáticamente formas, ventanas, botones, cajas de texto y otros controles, los cuales reconocerán las acciones del usuario, tales como el movimiento del ratón, los click en los botones, utilización del teclado de la computadora, etc. Esta combinación simplifica las labores de programación, reduce los tiempos de desarrollo de la aplicación y mejora la calidad del producto terminado.

El software funciona a través de menús, menús deslizantes, bloques de entrada de información, botones, etc., como cualquier aplicación para Windows, pero se ha desarrollado de tal manera que ciertos menús aparecen “congelados” para guiar al usuario en la entrada de la información. Conforme el usuario proporciona correctamente los datos que el programa solicita, los menús se van encendiendo. Adicionalmente el programa valida la entrada de datos recibidos del usuario.

1.4 CONTENIDO DEL PROGRAMA

El programa cuenta con 5 menús: Análisis, Flexión, Cortante, Columnas y Ayuda. El menú de análisis incluye la determinación exacta de los diagramas de corte y momento de vigas isostáticas e hiperestáticas, considerando las condiciones de apoyo y carga más comunes. Además cuenta con un módulo interactivo, que permite al usuario dibujar en forma los diagramas de corte, momento y deformada, utilizando el ratón de la computadora. El programa verifica, que cada tramo dibujado sea correcto, de lo contrario, despliega un mensaje en pantalla indicando que hay un error y mencionando las causas del mismo.

El menú de flexión incluye la solución de problemas de revisión y revisión-diseño de vigas de concreto reforzado, con secciones rectangulares, T, doble T, Cajón y triangulares,

verificando que se cumplan los criterios de ductilidad y acomodo de varillas. También permite hacer una comparativa en el cálculo del momento resistente utilizando el método de fibras y el bloque rectangular de esfuerzo de compresión propuesto por Whitney. Además, el programa permite determinar la gráfica de momento Vs. curvatura de la viga utilizando el método de fibras, y hacer un estudio de sensibilidad en el cálculo del momento resistente variando los factores que intervienen como son: peralte, ancho, f'_c , acero de refuerzo en compresión, etc.

El menú de cortante permite el cálculo de estribos utilizando los resultados obtenidos en la sección de análisis de vigas, calculando varias separaciones, utilizando las ecuaciones y limitaciones del Reglamento ACI-318-95. Así mismo muestra las gráficas de cortante actuante y cortante que resiste el concreto ϕV_c , y la separación mínima requerida y la separación máxima.

El menú de columnas incluye la determinación del diagrama de interacción de columnas de sección rectangular con acero simétrico o asimétrico, y columnas circulares, considerando las modificaciones al diagrama sugeridas por el Reglamento ACI-318-95 referentes al criterio de carga máxima permisible y a la modificación del factor de reducción de resistencia ϕ . Adicionalmente el programa permite diseñar el refuerzo longitudinal para que resista una combinación de momento y carga axial dados, graficando dentro del diagrama de interacción el punto (M_u , P_u).

El menú de ayuda incluye información sobre las especificaciones del reglamento y explicaciones breves sobre el uso y/o limitaciones de cada sección.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE VIGAS

El análisis de vigas en el programa tiene como objetivo general obtener los diagramas de corte y momento en cada claro, mediante la obtención de momentos en los extremos de las barras utilizando el método directo de rigideces. A partir de los momentos en los extremos de las barras, podemos obtener los diagramas de corte y momento de la viga y las ecuaciones de los mismos.

2.1 ANÁLISIS MATRICIAL

Al hacer el análisis de una viga, contamos con los siguientes datos:

- Número de claros en la viga (NC) y longitud de cada uno (L)
- Posibles condiciones de apoyo en los extremos de la viga (ver figura 1-a):
 - + Extremo articulado
 - + Extremo empotrado
 - + Extremo libre

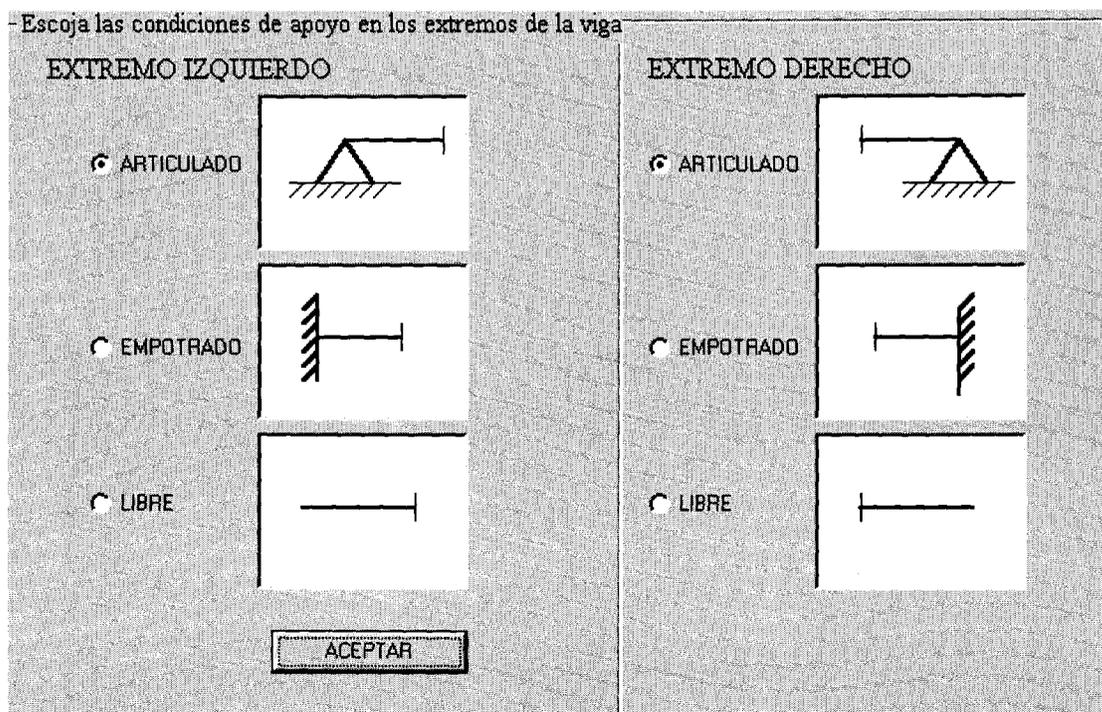


Figura 1-a. Condiciones de apoyo

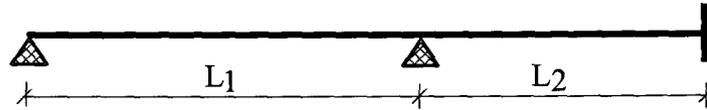


Figura 1-b. Geometría de la viga

▪ Cargas en cada claro

Para cada claro es posible considerar las siguientes condiciones de carga:

- a) Carga distribuida (ver figura 2-a). Se aceptan hasta dos cargas distribuidas por claro.

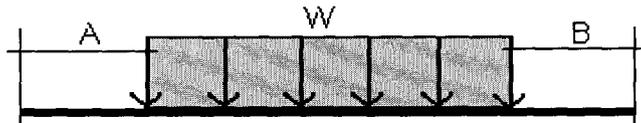


Figura 2-a. Carga distribuida

- b) Carga concentrada (ver figura 2-b). Se aceptan hasta 5 cargas concentradas por claro.

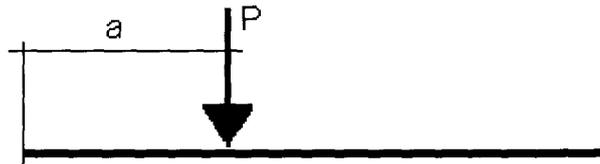


Figura 2-b. Carga concentrada

- c) Momento concentrado (ver figura 2-c). Se aceptan hasta dos momentos concentrados por claro.

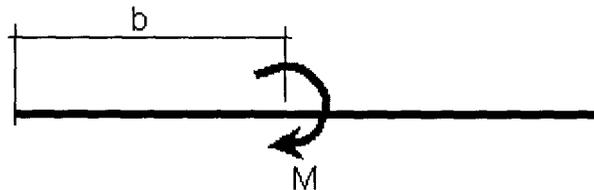


Figura 2-c. Momento concentrado

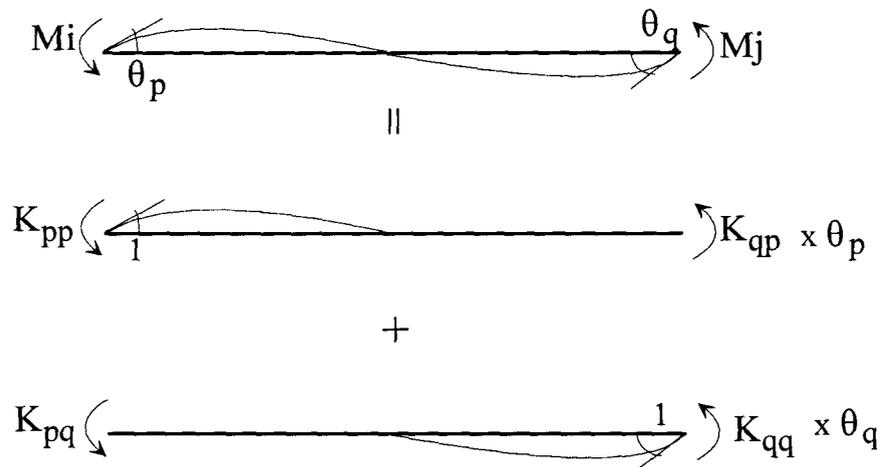
Procedimiento

1. Determinar si la viga es estáticamente estable

La viga es estáticamente estable si tiene tres o más reacciones, a menos que tenga alguna inestabilidad geométrica.

2. Calcular la matriz de rigidez local de cada barra.

La matriz de rigidez de cada barra se obtiene a partir de cuatro coeficientes rotacionales: K_{pp} , K_{qp} , K_{pq} , K_{qq} . Estos coeficientes indican la rigidez a flexión que tiene cada barra cuando los extremos rotan, y se obtienen utilizando la superposición mostrada en la figura.



Si lo expresemos en forma matricial obtenemos:

$$F = KD$$

$$\begin{Bmatrix} M_i \\ M_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{pp} & K_{pq} \\ K_{qp} & K_{qq} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_p \\ \theta_q \end{Bmatrix}$$

$\begin{bmatrix} K_{pp} & K_{pq} \\ K_{qp} & K_{qq} \end{bmatrix}$ es la matriz de rigidez local de la barra

Los coeficientes rotacionales se evalúan, considerando secciones prismáticas, de la siguiente manera:

$$K_{pp} = K_{qq} = \frac{4}{L}$$

$$K_{pq} = K_{qp} = \frac{2}{L}$$

3. Ensamblar la matriz de rigidez global de la viga

La matriz de rigidez general de la viga se ensambla a partir de la matriz de rigidez de cada barra, superponiendo para un mismo grado de libertad la rigidez de las barras que llegan al mismo punto, obteniendo lo siguiente:

$$[K]\{D\} = \{F\}$$

en forma matricial

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -MEP \\ R - MEP \end{Bmatrix}$$

El tamaño de la matriz de rigidez general depende del número de grados de libertad en la viga. Sin embargo en el programa únicamente se ensambla la matriz correspondiente a los grados de libertad no restringidos, es decir $[K_{11}]$, utilizando el siguiente algoritmo:

$$i = 1, 2, \dots, NC \quad NC: \text{número de claros en la viga}$$

$$K_{i,i} = k_{ppi}$$

$$K_{i,i+1} = k_{qpi}$$

$$i = 2, \dots, ND \quad ND: \text{número de grados de libertad no restringidos en la viga.}$$

$$K_{i,i} = K_{i,i} + k_{qqi-1}$$

$$k = 1, \dots, ND$$

Si $i > k$

$$K_{i,k} = K_{k,i}$$

4. Determinar los momentos de empotramiento perfecto para cada claro de la viga

Momento de empotramiento izquierdo:

$$MEI = \sum_{i=1}^{\#W} \frac{W_i L^2}{12} \left(\alpha_i^2 (6 - 8\alpha_i + 3\alpha_i^2) - \beta_i^2 (6 - 8\beta_i + 3\beta_i^2) \right) + \sum_{i=1}^{\#P} \frac{P_i a_i (L - a_i)^2}{L^2} \dots$$

$$\dots + \sum_{i=1}^{\#M} M_i \left(1 - 4 \frac{b_i}{L} + 3 \left(\frac{b_i}{L} \right)^2 \right)$$

Momento de empotramiento derecho:

$$MED = \sum_{i=1}^{\#W} \frac{-W_i L^2}{12} \left(\alpha_i^3 (4 - 3\alpha_i) - \beta_i^3 (4 - 3\beta_i) \right) - \sum_{i=1}^{\#P} \frac{P_i a_i^2 (L - a_i)}{L^2} - \sum_{i=1}^{\#M} \frac{M_i b_i}{L} \left(2 - 3 \frac{b_i}{L} \right)$$

En las dos ecuaciones anteriores

$$\alpha = \frac{L - BW}{L}$$

$$\beta = \frac{AW}{L}$$

#W: número de cargas distribuidas en el claro

#P: número de cargas concentradas

#M: número de momentos concentrados

5. Ensamblar el vector de fuerzas $\{F\}$

$$i = 1 \dots ND$$

$$f_i = MEI_i$$

$$f_{i+1} = f_{i+1} + MED_i$$

6. Se resolverá para θ el sistema de ecuaciones siguiente

$$[K]\{\theta\} = \{F\}$$

El método de solución para el sistema de ecuaciones es Cholesky. Si se tiene un sistema de ecuaciones $[A]\{X\} = \{Y\}$, se factoriza la matriz $[A]$ en $[U]^t [U]$ y se resuelve el sistema de ecuaciones $[U]\{Z\} = \{Y\}$, para finalmente resolver el sistema $[U]^t \{X\} = \{Z\}$

7. Factorizar la matriz de rigidez como $[K] = [U]^t [U]$

$$U_{11} = \sqrt{K_{11}}$$

$$U_{1,j} = \frac{K_{1,j}}{U_{1,1}}$$

$$U_{i,i} = \sqrt{K_{i,i} - \sum_{k=1}^{i-1} U_{k,i}^2}$$

Si $j > i$ entonces

$$U_{i,j} = \frac{K_{i,j} - \sum_{k=1}^{i-1} U_{k,i} U_{k,j}}{U_{i,i}}$$

de lo contrario

$$U_{i,j} = 0 \quad j = 2 \dots ND \quad i = 2 \dots ND$$

8. Resolver el sistema $[U]^t \{Z\} = \{Y\}$

Si $j \leq i$ entonces

$$UT_{i,j} = U_{j,i}$$

de lo contrario

$$UT_{i,j} = 0 \quad j = 1 \dots ND \quad i = 1 \dots ND$$

$$Z_1 = \frac{-f_1}{UT_{1,1}}$$

$$Mult = Mult + UT_{i,j} Z_j$$

$$Z_i = \frac{-f_i - Mult}{UT_{i,i}} \quad j = 1 \dots i-1 \quad i = 2 \dots ND$$

9. Resolver el sistema $[U]\{\theta\} = \{Z\}$, siendo θ el vector de rotaciones

$$\theta_{ND} = \frac{Z_{ND}}{U_{ND,ND}}$$

$$Mult = Mult + U_{i,j} \theta_j$$

$$\theta_i = \frac{Z_i - Mult}{U_{i,i}} \quad j = i+1 \dots ND \quad i = ND \dots 1$$

10. Calcular los momentos en los extremos de las barras

$$MI_i = k_{ppi} \theta_i + k_{pqi} \theta_{i+1} + MEI_i$$

$$MD_i = k_{qpi} \theta_i + k_{qqi} \theta_{i+1} + MED_i$$

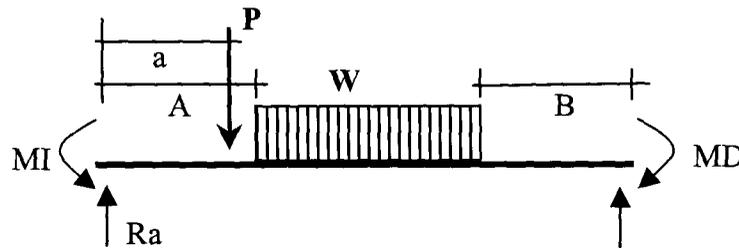
2.2 DIAGRAMAS DE CORTE Y MOMENTO

Para cada claro de la viga, se obtienen 400 coordenadas con los valores de corte $V(x)$ y momento $M(x)$, siendo x la distancia medida desde el extremo izquierdo de la viga. Cada coordenada se determina utilizando las ecuaciones de corte y momento correspondientes al tramo donde se encuentre la coordenada, siguiendo el procedimiento descrito a continuación. El motivo para determinar estas coordenadas se discutirá en la sección 5.3.

Procedimiento

1. Calcular la reacción en el extremo izquierdo del claro

$$R_a = \frac{MI + MD}{L} + \sum_{i=1}^{\#W} \frac{W_i}{2L} (L - A_i - B_i)(L - A_i + B_i) + \sum_{i=1}^{\#P} \frac{P_i(L - a_i)}{L} - \sum_{i=1}^{\#M} \frac{M_i}{L}$$



2. Ecuaciones de Corte $V(x)$ y Momento $M(x)$ por tramos.

Para cualquier tramo del claro:

$$M(x) = R_a x - MI - \sum_{i=1}^{\#P} P_i \langle x - a_i \rangle - \sum_{i=1}^{\#M} M_i \langle x - b_i \rangle^0$$

$$V(x) = R_a - \sum_{i=1}^{\#P} P_i \langle x - a_i \rangle^0$$

Si el claro tiene cargas distribuidas, modificar el valor obtenido arriba.

Por cada carga distribuida agregar:

Si $A_i \leq x \leq (L - B_i)$

$$M(x) = M(x) - W_i \frac{(x - A_i)^2}{2}$$

$$V(x) = V(x) - W_i (x - A_i)$$

Si $(L - B_i) < x$

$$M(x) = M(x) - W_i(L - A_i - B_i) \left(x - A_i - \frac{(L - A_i - B_i)}{2} \right)$$

$$V(x) = V(x) - W_i(L - A_i - B_i)$$

2.3 MÓDULO INTERACTIVO

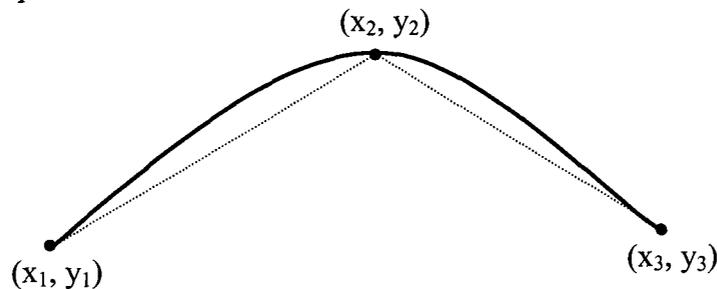
El módulo interactivo permite al usuario, utilizando el ratón de la computadora, dibujar en forma los diagramas de corte, momento y deformada de la viga. El usuario puede dibujar los diagramas con tramos rectos o parabólicos, debido los tipos de cargas que maneja el programa. Cada tramo dibujado por el usuario se compara con la forma del diagrama real para ver si lo dibujado es correcto.

El espacio donde el usuario dibuja los diagramas asigna coordenadas a los puntos utilizados para trazar un tramo cualquiera, ya sea recto o parabólico, tal como se muestra en la figura

- *En un tramo recto*



- *En un tramo parabólico*



Para los diagrama reales de corte y momento se tienen 400 puntos por claro que sirven como referencia para poder comparar estos diagramas con los trazados por el usuario.

Procedimiento:

- *Diagrama de corte*
 1. Verificar que la forma del diagrama de corte sea correcta.
Como el programa únicamente permite utilizar cargas concentradas y cargas uniformemente distribuidas, el diagrama de corte siempre será lineal.
 2. Verificar que el usuario empiece el diagrama por el extremo izquierdo de la viga.
 3. Corregir el signo del cortante en el extremo izquierdo de la viga. Se debe cumplir que

$$\text{Signo}(VI_i) = \text{Signo}(y_i)$$

4. Corregir el signo de puntos intermedios que el usuario seleccione

$$\text{Signo}(V_x) = \text{Signo}(y_2)$$

5. Si la viga tiene dos o más claros, impedir que el usuario pase a través de un apoyo intermedio sin hacer un cambio en el diagrama de corte.

6. Corregir signo del cortante en apoyos intermedios. Se debe cumplir que

$$\text{Signo}(VI_i) = \text{Signo}(y_1)$$

$$\text{Signo}(VI_{i+1}) = \text{Signo}(y_2)$$

donde i e $i+1$ son los claros adyacentes al apoyo.

7. Corregir la pendiente de la recta trazada por el usuario (m_{inter}), comparándola con la del diagrama real.

$$m_{inter} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m_1 = \frac{Vx_2 - Vx_1}{xr_2 - xr_1}$$

$$m_2 = \frac{Vx_2 - Vx_3}{xr_2 - xr_3}$$

Se debe cumplir que

$$\text{Signo}(m_{inter}) = \text{Signo}(m_1) = \text{Signo}(m_2)$$

8. Corregir extremo derecho del diagrama de corte.

$$\text{Signo}(VD_{NC}) = \text{Signo}(y_2)$$

▪ *Diagrama de momento*

Para dibujar el diagrama de momento, el usuario debe haber concluido satisfactoriamente el diagrama de corte.

1. Verificar que el usuario empiece el diagrama por el extremo izquierdo de la viga.
2. Corregir el signo del momento en el extremo izquierdo de la viga. Se debe cumplir que

$$\text{Signo}(MI_1) = \text{Signo}(y_1)$$
3. Verificar que el usuario haga el diagrama de momento por tramos, tomando en cuenta los cambios en el diagrama de corte, en las cargas y en los apoyos.

4. Asegurarse de que el usuario considere que el momento es máximo cuando el corte es cero.

5. Corregir el signo de puntos intermedios que el usuario seleccione

$$\text{Signo}(Mx) = \text{Signo}(y_2)$$

6. Verificar que la forma del diagrama sea la correcta, comparando con la pendiente del diagrama de corte en el tramo del diagrama de momento que se está dibujando.

$$m_1 = \frac{Vx_2 - Vx_1}{xr_2 - xr_1}$$

Si $m_1 = 0$ el diagrama de momento será lineal, de lo contrario será parabólico.

7. Si el diagrama de momentos es lineal, comparar la pendiente de la recta trazada por el usuario (m_{inter}) con la pendiente del diagrama real.

$$m_{inter} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m_1 = \frac{Mx_2 - Mx_1}{xr_2 - xr_1}$$

$$m_2 = \frac{Mx_2 - Mx_3}{xr_2 - xr_3}$$

Se debe cumplir que

$$\text{Signo}(m_{inter}) = \text{Signo}(m_1) = \text{Signo}(m_2)$$

8. Si el diagrama de momentos es parabólico, los 3 puntos escogidos por el usuario deberán ser válidos para formar una parábola de tal manera que

$$x_3 > x_2$$

9. Si el diagrama de momento es parabólico, revisar que la concavidad sea adecuada.

$$m_{inter}(1) = \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1}$$

$$m_{inter}(2) = \frac{y_2 - y_3}{x_3 - x_2}$$

$$m_1 = \frac{Mx_2 - Mx_1}{xr_2 - xr_1}$$

$$m_2 = \frac{Mx_2 - Mx_3}{xr_2 - xr_3}$$

Si $m_1 > m_2$ las pendientes m_{inter} deben guardar la misma relación, es decir

$$m_{inter}(1) = m_{inter}(2)$$

de lo contrario la concavidad de la parábola dibujada por el usuario es incorrecta.

10. Corregir extremo derecho del diagrama de momento

$$Signo(MD_{NC}) = Signo(y_2)$$

▪ *Diagrama de la deformada*

1. Empezar por el extremo izquierdo
2. Corregir el signo de la deformada en el extremo izquierdo
Si existe apoyo, el valor de la deformada debe ser cero. Si es un volado, el valor de la deformada debe ser diferente de cero, a menos que la viga no tenga cargas.
3. Si hay algún empotramiento en los extremos, la pendiente debe ser cero.
4. Si la viga tiene dos o más claros, el valor de la deformada en los apoyos interiores debe ser cero.
5. De acuerdo al diagrama de momentos dibujado por el usuario, revisar la concavidad de la deformada. Si el momento es positivo, la deformada debe ser cóncava hacia arriba.
6. Revisar el signo de la deformada en el extremo derecho.

CAPÍTULO 3

FLEXIÓN EN VIGAS

Las vigas son elementos estructurales sujetos a flexión y fuerza cortante principalmente. Sin embargo para estimar la resistencia a flexión de una viga puede despreciarse el efecto de la fuerza cortante sin perder precisión.

El método de compatibilidad de deformaciones es usado para determinar la resistencia a la flexión de los elementos, considerando una distribución parabólica de los esfuerzos de compresión del concreto, así como la distribución rectangular equivalente propuesta por Whitney.

En el menú de flexión del programa, se pueden resolver los siguientes tipos de problemas:

- Revisión de vigas
- Revisión-diseño de vigas
- Gráfica de Momento Vs. Curvatura
- Estudios de sensibilidad

3.1 SUPOSICIONES DE DISEÑO

El reglamento del ACI-318-95 establece las siguientes suposiciones de diseño para determinar la resistencia a la flexión de acuerdo a la teoría de resistencia última:

(Art. 10.2.1) Satisfacer las condiciones de equilibrio y compatibilidad de deformaciones.

(Art. 10.2.2) Secciones planas permanecen planas después de la deformación por flexión.

(Art. 10.2.3) La máxima deformación en la fibra extrema en compresión del concreto se supone igual a 0.003.

(Art. 10.2.4) El esfuerzo desarrollado por el acero se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Si } |\varepsilon_s| < \frac{f_y}{E_s}$$

$$f_s = E_s \varepsilon_s$$

De lo contrario

$$f_s = f_y \frac{\varepsilon_s}{|\varepsilon_s|}$$

donde:

f_y = esfuerzo de fluencia en el acero

ε_s = deformación unitaria en el acero

f_s = esfuerzo desarrollado por el acero

La relación $\frac{\varepsilon_s}{|\varepsilon_s|}$ se utiliza únicamente para determinar el signo adecuado del esfuerzo.

(Art. 10.2.5) La resistencia a tensión del concreto se considera igual a cero.

(Art. 10.2.6) Se puede usar cualquier distribución de esfuerzos para el concreto que coincida sustancialmente con los resultados de pruebas a la compresión.

3.2 REVISIÓN DE VIGAS

Se desea determinar el momento resistente de una viga de concreto reforzado utilizando el método de compatibilidad de deformaciones. Se consideran cuatro tipos de sección transversal:

- a) Rectangular
- b) Vigas T y doble T
- c) Vigas cajón
- d) Vigas triangulares con el vértice hacia arriba y hacia abajo

Para todos los tipos de viga tenemos como datos los siguientes parámetros:

- Propiedades de los materiales
 - f'_c : resistencia a la compresión del concreto
 - f_y : esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

- Dimensiones de la sección transversal y localización del acero de refuerzo (figura 1).

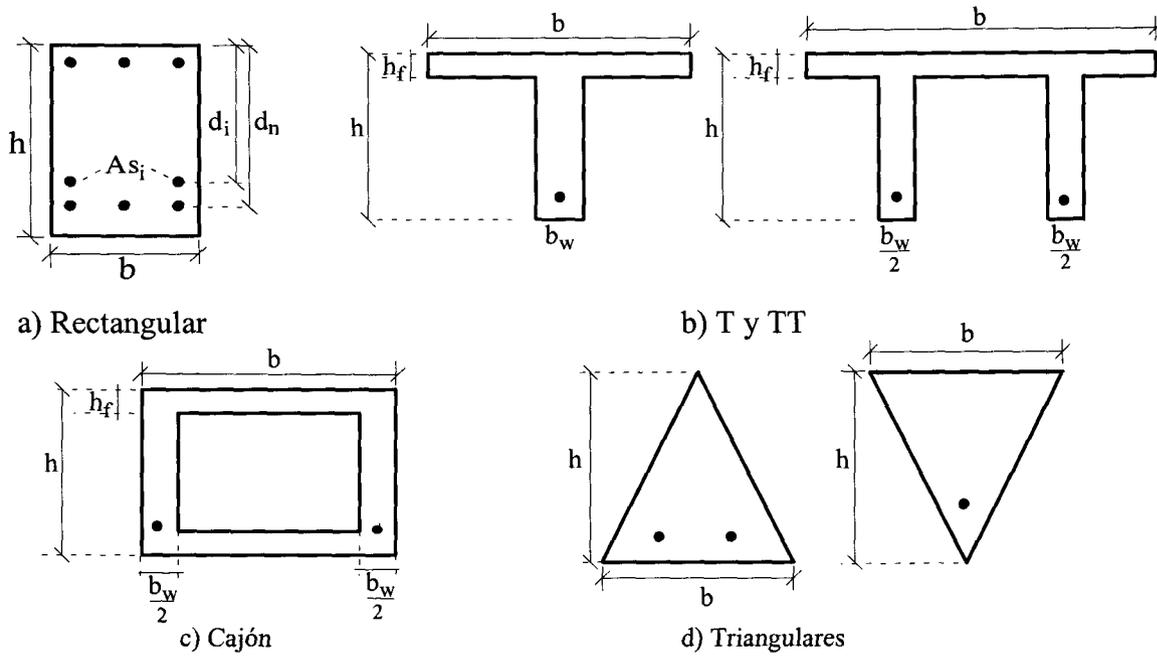


Figura 1.

Dado el $f'c$ del concreto, en kg/cm^2 obtenemos β_1

Si $f'c \leq 280$

$$\beta_1 = 0.85$$

Si $280 < f'c \leq 560$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{70}(f'c - 280)$$

Si $560 < f'c$

$$\beta_1 = 0.65$$

Procedimiento:

1. Suponer un valor de la profundidad del eje neutro c

$$c = \frac{6120d}{6120 + fy}$$

2. Calcular la fuerza de compresión del concreto Cc

Se consideran dos opciones:

- *Usando el bloque rectangular equivalente de Whitney. (ver figura 1).*

Calcular la profundidad del bloque rectangular equivalente a

$$a = \beta_1 c$$

- a) Para vigas rectangulares y vigas T donde $a \leq hf$

$$Cc = 0.85 f'_c ab$$

- b) Para vigas T donde $a > hf$

$$Cc = 0.85 f'_c ((b - b_w)h_f + ab_w)$$

- c) Para vigas triangulares con el vértice hacia abajo

$$Cc = 0.85 f'_c \left(ab - \frac{a^2 b}{2h} \right)$$

- d) Para vigas triangulares con el vértice hacia arriba

$$Cc = 0.85 f'_c \left(\frac{a^2 b}{2h} \right)$$

- *Utilizando fibras*

Se divide el área de concreto en compresión en n fibras, y se calcula la fuerza de compresión de cada una de ellas de acuerdo al nivel de esfuerzo que tenga. Este nivel de esfuerzo depende de la deformación en la fibra extrema en compresión (ϵ_{cs}), la cual varía desde cero hasta la deformación máxima en compresión al momento de la falla de la viga

$$\epsilon_{cu} = 0.003.$$

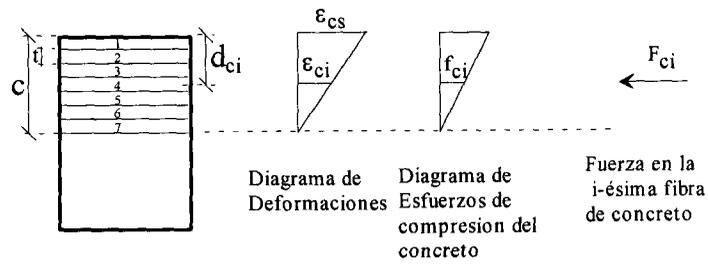


Figura 2-a

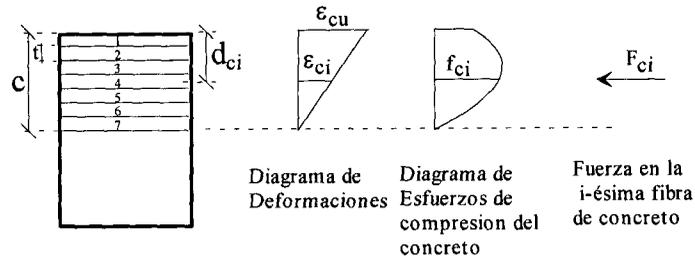
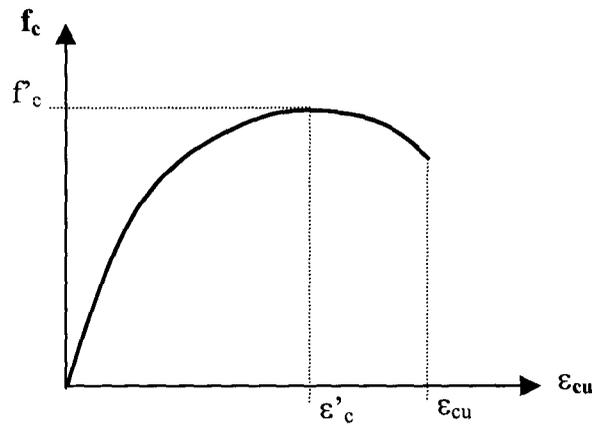


Figura 2-b

Para calcular el esfuerzo en cada fibra de concreto se utiliza la siguiente aproximación a la curva esfuerzo-deformación del concreto:



$$f_c = f'_c \left(\frac{2\epsilon_c}{\epsilon'_c} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon'_c} \right)^2 \right)$$

- a) Calcular el espesor de la fibra

$$t = \frac{c}{n}$$

donde n es el número de fibras. En el programa $n = 100$.

- b) Determinar la localización de la fibra respecto a la fibra extrema en compresión

$$d_{ci} = \frac{t}{2} + t(i-1)$$

- c) Calcular el área de concreto de cada fibra (ver figura 1).

-Para vigas rectangulares y vigas T donde $a \leq hf$

$$A_{ci} = b t$$

-Para vigas T donde $a > hf$

$$A_{ci} = b_w t$$

-Para vigas triangulares con el vértice hacia abajo

$$A_{ci} = \frac{b(h-d_{ci})t}{h}$$

-Para vigas triangulares con el vértice hacia arriba

$$A_{ci} = \frac{b d_{ci} t}{h}$$

- d) Calcular la fuerza que aporta cada fibra de concreto

-Deformación unitaria de cada fibra

$$\varepsilon_{ci} = \varepsilon_{cs} \left(1 - \frac{d_{ci}}{c} \right)$$

-Esfuerzo de compresión en cada fibra

$$f_{ci} = f'_c \left(\frac{2\varepsilon_{ci}}{\varepsilon'_c} - \left(\frac{\varepsilon_{ci}}{\varepsilon'_c} \right)^2 \right)$$

donde $\varepsilon'_c = 0.002$

-Fuerza de compresión en cada fibra

$$F_{ci} = f_{ci} A_{ci}$$

e) Calcular Cc

$$Cc = \sum_1^n F_{ci}$$

3. Independientemente de como se obtenga la fuerza de compresión del concreto, obtener la fuerza que aporta cada capa de acero

a) Deformación unitaria de cada capa de acero

$$\varepsilon_{si} = \varepsilon_{cu} \left(\frac{d_i}{c} - 1 \right)$$

b) Esfuerzo en cada capa de acero

$$\text{Si } |\varepsilon_{si}| < \frac{f_y}{E_s}$$

$$f_{si} = E_s \varepsilon_{si}$$

De lo contrario

$$f_{si} = f_y \frac{\varepsilon_{si}}{|\varepsilon_{si}|}$$

c) Fuerza que aporta cada capa de acero

$$F_{si} = A_{si} f_{si}$$

donde las fuerzas de tensión toman signo positivo.

4. Determinar la fuerza total de tensión (T), y de compresión (C)

$$T = \sum_1^{NF(+)} F_{si} \quad NF(+): \text{ número de fuerzas positivas}$$

$$C = \sum_1^{NF(-)} F_{si} - Cc \quad NF(-): \text{ número de fuerzas negativas}$$

C toma signo negativo.

5. Dependiendo de los valores de T y C obtenidos en el paso anterior, obtenemos un nuevo valor de c , considerando que el objetivo es que la sección se encuentre en equilibrio ($T+C=0$), debido a que la sección está sujeta únicamente a momento flector. El nuevo valor de c se puede encontrar utilizando una gran variedad de métodos numéricos. En este caso se utilizó el método de bisección, por lo que utilizaremos dos

parámetros auxiliares: L_{sup} o L_{inf} (ver figura 3). Los valores iniciales que toman estos parámetros son:

$$L_{sup} = 0.01h$$

$$L_{inf} = 0.99h$$

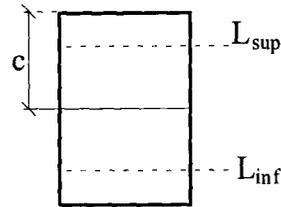


Figura 3

- Si $(T + C) > 0$

$$L_{sup} = c$$

de otra manera

$$L_{inf} = c$$

- $c_{nueva} = \frac{(L_{sup} + L_{inf})}{2}$

6. Repetir los pasos 2 a 5 hasta que se cumpla que:

$$|C + T| < 0.0001T$$

7. Si la fuerza de compresión del concreto Cc se calculó usando el bloque rectangular de Whitney, determinar su localización respecto a la fibra extrema en compresión (ver figuras 1 y 4).

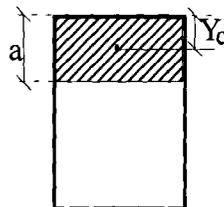


Figura 4

a) Para vigas rectangulares y vigas T donde $a \leq hf$

$$Y_c = \frac{a}{2}$$

b) Para vigas T donde $a > hf$

$$Y_c = \frac{\frac{1}{2} \left((b - b_w) h_f^2 + a^2 b_w \right)}{(b - b_w) h_f + a b_w}$$

c) Para vigas triangulares con el vértice hacia abajo

$$Y_c = \frac{3ah - 2a^2}{3(2h - a)}$$

d) Para vigas triangulares con el vértice hacia arriba

$$Y_c = \frac{2}{3} a$$

8. Evaluar el momento resistente de la sección

Haciendo una sumatoria de momentos en el extremo superior de la viga.

- Si se usó el bloque rectangular de Whitney

$$Mn = \sum_1^{ns} F_{si} d_i - Cc Y_c$$

Recordando que en los cálculos previos la fuerza de compresión Cc es negativa.

- Si se usó fibras

$$Mn = \sum_1^{ns} F_{si} d_i - \sum_1^n F_{ci} d_{ci}$$

3.3 REVISIÓN-DISEÑO DE VIGAS

Se desea diseñar el refuerzo requerido por una viga de concreto sujeta a flexión, teniendo como datos los siguientes parámetros:

- Momento último (M_u)
- Dimensiones de la sección transversal (ver figura 1)
El usuario selecciona el recubrimiento el programa.
- Propiedades de los materiales
 f'_c : resistencia a la compresión del concreto
 f_y : esfuerzo de fluencia en el acero de refuerzo

Procedimiento:

- *Para vigas rectangulares, sección T, doble T y cajón*
1. Plantear la ecuación cuadrática para determinar el acero de refuerzo (A_s)

$$\frac{\phi f_y^2}{1.7 f'_c b} A_s^2 - \phi f_y d A_s + M_u = 0$$

2. Resolver para A_s utilizando la fórmula general

$$A_s = \frac{\phi f_y d - \sqrt{(\phi f_y d)^2 - \frac{4\phi f_y^2 M_u}{1.7 f'_c b}}}{\frac{2\phi f_y^2}{1.7 f'_c b}}$$

Si el valor obtenido dentro del radical resulta negativo, la sección no es adecuada para resistir el momento último, por lo que se deberá aumentar el tamaño de la sección.

3. Calcular el armado mínimo

$$A_{s_{\min}} \geq \begin{cases} 0.8 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \\ \frac{14.5}{f_y} b_w d \end{cases}$$

Utilizar el mayor entre A_s y $A_{s_{\min}}$

4. Para vigas T, doble T y cajón calcular la profundidad del bloque rectangular equivalente de Whitney

$$a = \frac{As f_y}{0.85 f'_c b}$$

Si $a \leq h_f$ continuar con el paso 10, de lo contrario seguir en el paso 5.

5. Calcular el acero de refuerzo como viga T, debido a que el obtenido en el paso 2 ya no es válido.

$$a) \quad As_f = \frac{0.85 f'_c (b - b_w) h_f}{f_y}$$

$$b) \quad Mn_2 = As_f f_y \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

$$c) \quad Mn_1 = \frac{M_u}{\phi} - Mn_2$$

- d) Utilizar la ecuación cuadrática y resolver para As_w

$$\frac{\phi f_y^2}{1.7 f'_c b_w} As_w^2 - \phi f_y d As_w + Mn_1 = 0$$

$$As = \frac{\phi f_y d - \sqrt{(\phi f_y d)^2 - \frac{4 \phi f_y^2 Mn_1}{1.7 f'_c b_w}}}{\frac{2 \phi f_y^2}{1.7 f'_c b_w}}$$

Si el valor obtenido dentro del radical resulta negativo, la sección no es adecuada para resistir el momento último, por lo que se deberá aumentar el tamaño de la sección.

- e) El acero requerido por flexión será

$$As = As_f + As_w$$

6. Calcular el armado mínimo

$$A_{s_{\min}} \geq \begin{cases} 0.8 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \\ \frac{14.5}{f_y} b_w d \end{cases}$$

Utilizar el mayor entre A_s y $A_{s_{\min}}$ y continuar en el paso 10

- *Para Vigas triangulares*

7. Proponer un área de acero inicial como

$$A_s = \frac{14.5 bh}{f_y 2}$$

8. Revisar la viga utilizando el procedimiento descrito en la sección 3.2
9. Si se cumple que $\phi Mn \geq Mu$ entonces ha concluido el diseño del refuerzo, de lo contrario considerar una nueva área de acero

$$A_{s_{\text{nueva}}} = A_{s_{\text{anterior}}} + 1 \quad \text{y regresar al paso 8.}$$

10. Redondear a varillas comerciales, dependiendo del área de la varilla a utilizar (A_{s_v}). Se considera varillas del #4, #6 y #8.

$$\# \text{ varillas} = \frac{A_s}{A_{s_v}} \quad \text{redondear hacia arriba al entero más próximo.}$$

11. Revisar el criterio de ductilidad.

- *Para vigas rectangulares, T, doble T y cajón*

Se debe cumplir que

$$\rho \leq \rho_{\max}$$

en la ecuación anterior

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$\rho_{\max} = 0.75(\rho_b + \rho_f)$$

$$\rho_b = 0.85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{6120}{6120 + f_y} \right)$$

$$\rho_f = \frac{A s_f}{b_w d} \quad \text{En vigas rectangulares } \rho_f = 0$$

▪ *Para vigas triangulares*

Para vigas triangulares se utiliza el criterio contenido en el reglamento ACI-318-95, Comentarios, Apéndice B, donde se considera que la viga tiene una falla controlada por tensión cuando la deformación unitaria de la capa extrema de acero en tensión es mayor o igual a 0.005.

12. Si la viga no cumple con el criterio de ductilidad, se le proporciona el acero en compresión necesario para hacerla dúctil.

$$A' s = (\rho - \rho_{max}) \frac{f_y}{f' s_b} b d \quad \text{redondear a varillas comerciales}$$

en la ecuación anterior

$$f' s_b = 6120 - \frac{d'}{d} (6120 + f_y) \leq f_y$$

13. Revisar el criterio constructivo para ver si las varillas se pueden acomodar adecuadamente. El ancho requerido (b_{req}) se calcula considerando que las varillas se pueden acomodar hasta en dos lechos y utilizando paquetes de hasta dos varillas.

$$b_{req} = \# \text{ varillas} (\phi_v) + 2.5 * \# \text{ espacios} + 2 \text{ recub} + 2 \phi_{estribo};$$

ϕ_v : diámetro de la varilla longitudinal

3.4 GRÁFICA MOMENTO RESISTENTE (ϕMn) Vs CURVATURA (Φ)

Para determinar n puntos de la gráfica ϕMn Vs. Φ se utiliza el siguiente procedimiento:

1. Fijar la deformación unitaria en la fibra extrema en compresión ε_{cs}

$$\varepsilon_{cs} = \frac{\varepsilon_{cu}}{n_{\text{puntos}}}(i) \quad \text{donde } i=1,2,3,4\dots n_{\text{puntos}}$$

donde ε_{cu} es la deformación unitaria del concreto al momento de la falla, con un valor de 0.003

2. Utilizando el procedimiento de la sección 3.2, obtener ϕMn y c .
3. Calcular la curvatura de la viga

$$\Phi = \frac{\varepsilon_{cs}}{c}$$

4. Repetir pasos 1 a 4 hasta haber obtenido todos los puntos de la gráfica ϕMn Vs Φ (ver figura 5).

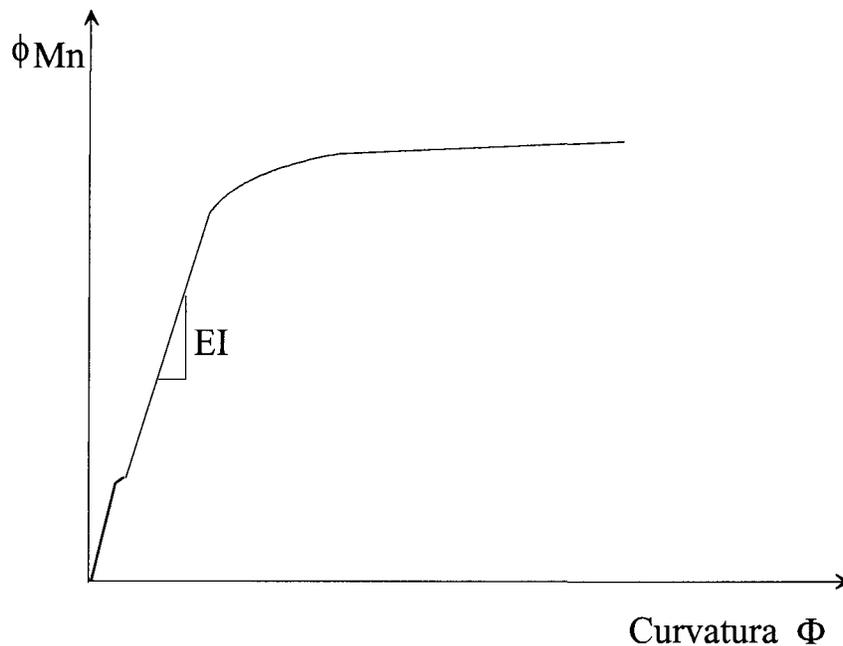


Figura 5

3.5 ESTUDIOS DE SENSIBILIDAD

En esta sección se pretende que el usuario del programa tenga una herramienta para estudiar el comportamiento de una viga de concreto sujeta a flexión cuando se realiza una variación de los parámetros principales como son: dimensiones, resistencia del concreto y cantidad de acero de refuerzo.

Para realizar los estudios de sensibilidad se utilizan los procedimientos descritos en las secciones 3.2 y 3.4. Los resultados se presentan en forma de gráficas.

Los estudios de sensibilidad que se consideran son los siguientes:

- Variación del momento resistente Vs. variación del peralte
Se calcula el momento resistente para un peralte dado y para el doble de peralte.
- Variación del momento resistente Vs. variación del ancho
Se calcula el momento resistente para un ancho dado y para el doble de ancho.
- Variación del momento resistente Vs. $f'c$
Se calcula el momento resistente para un $f'c$ dado y para un $f'c$ 100 kg/cm² mayor.
- Variación del momento resistente Vs. cantidad de acero en compresión $A's$
Se calcula el momento resistente sin utilizar acero en compresión, y utilizando un área de acero en compresión igual a la de tensión.
- Gráfica de Momento Vs Curvatura para diferentes cantidades de acero
Se determinan tres curvas de Momento Vs. Curvatura:
 - a) Utilizando un área de acero dada
 - b) Utilizando el área de acero de la falla balanceada
 - c) Utilizando el área de acero de la falla balanceada y un área de acero igual pero en compresión.

CAPÍTULO 4

CORTANTE EN VIGAS

La resistencia a fuerza cortante de vigas de concreto reforzado se considera como la suma de la resistencia nominal del concreto (V_c), más la contribución del acero de refuerzo transversal a la resistencia (V_s), utilizando el factor de reducción de resistencia correspondiente, es decir:

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s)$$

donde $\phi = 0.85$

La resistencia del concreto se considera como:

$$\phi V_c = \phi 0.55 \sqrt{f'_c} b_w d$$

donde:

f'_c = resistencia a la compresión del concreto

b_w = ancho del alma de la viga

d = peralte efectivo de la viga

La contribución del acero de refuerzo se determina de la siguiente manera:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{S}$$

donde:

A_v = área del estribo incluyendo todos los brazos

f_y = esfuerzo de fluencia del acero

d = peralte efectivo de la viga

S = separación de los estribos

4.1 DISEÑO DE REFUERZO POR CORTANTE

Se desea determinar el refuerzo requerido por cortante para una viga de concreto. Tenemos como datos los siguientes parámetros:

- Propiedades de los materiales

f'_c : resistencia del concreto a la compresión

f_y : esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

- Dimensiones de la sección transversal

Se considera que el corte lo resiste el alma de la viga, por lo que los datos serán el peralte (h) y el ancho (b_w).

- Área del estribo (A_v)

Se contemplan cuatro opciones para que el usuario seleccione el tipo de estribo a utilizar en la solución:

Estribo #3 con 2 ramas

Estribo #3 con 4 ramas

Estribo #4 con 2 ramas

Estribo #4 con 4 ramas

El usuario escoge el claro para el que desea hacer el diseño de estribos. El procedimiento que a continuación se detalla se sigue tanto para el extremo izquierdo como para el extremo derecho del claro a diseñar.

Procedimiento:

1. Calcular la resistencia al corte del concreto

$$\phi V_c = \phi 0.55 \sqrt{f'_c} b_w d$$

2. Determinar el valor del corte en la sección crítica del claro. Este valor se toma directamente de los resultados del análisis de la viga, y se designa como V_{crit}
3. Determinar la resistencia requerida para el acero de refuerzo

$$V_s = \frac{V_{crit} - \phi V_c}{\phi}$$

4. Verificar que V_s no exceda el valor de $V_{s_{max}}$

$$V_{s_{max}} = 2.1 \sqrt{f'_c} b_w d$$

5. Si $V_s > 0$ calcular la separación de los estribos por resistencia (S_{req}), de lo contrario seguir en el paso 7.

$$S_{req} = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

6. Comparar S_{req} contra los límites establecidos por el reglamento ACI-318-95.

Opción 1

$$\text{Si } V_s < 1.1\sqrt{f'_c} b_w d$$

$$S_{max} \leq \begin{cases} d/2 \\ 60 \text{ cm} \end{cases}$$

Opción 2

$$1.1\sqrt{f'_c} b_w d \leq V_s \leq 2.1\sqrt{f'_c} b_w d$$

$$S_{max} \leq \begin{cases} d/4 \\ 30 \text{ cm} \end{cases}$$

Rige el menor valor entre S_{req} y S_{max}

7. Si $V_s < 0$ tenemos dos posibilidades:

Cuando $V_{crit} < \frac{\phi V_c}{2}$, la viga no necesita estribos

Cuando $\frac{\phi V_c}{2} \leq V_{crit} < \phi V_c$, aunque no se requiere el uso de estribos el Reglamento ACI-318 95 especifica que se utilicen estribos con separación máxima.

8. Si en el paso 6 rigió la S_{req} , determinar la distancia necesaria para poder utilizar S_{max} . Se compara el valor de V_u del diagrama de corte obtenido del análisis hasta que se cumpla que:

$$V_u = \phi V_c + \frac{\phi A_v f_y}{S_{max}}$$

9. Para determinar la distancia necesaria para no utilizar estribos, se debe cumplir que:

$$V_u = \frac{\phi V_c}{2}$$

En los pasos 8 y 9 V_u se toma del diagrama de corte obtenido del análisis.

4.2 CROQUIS DE DISEÑO

En el programa el usuario tiene la posibilidad de realizar el diseño de estribos con cualquiera de las siguientes opciones:

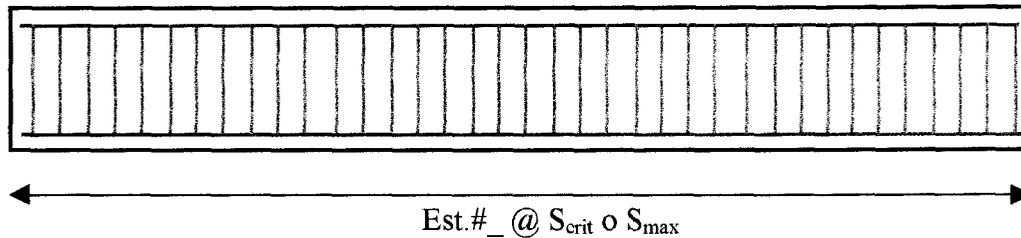
- Usando tres separaciones
- Usando dos separaciones
- Usando una separación

De la sección 4.1 tenemos los siguientes resultados:

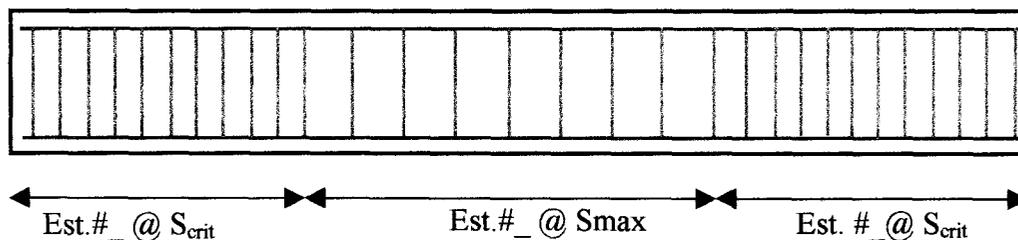
- Separación crítica (S_{crit}), para los extremos izquierdo y derecho.
- Separación máxima (S_{max})
- Distancia para usar S_{max} , para los extremos izquierdo y derecho.
- Distancia para no usar estribos, para los extremos izquierdo y derecho.

Utilizando los resultados de la sección 4.1 y el número de separaciones requeridas por el usuario, obtenemos el croquis de diseño. A continuación se detallan sólo 3 de los posibles croquis de diseño, según las condiciones indicadas antes del croquis. En el programa se contemplan 9 opciones para el croquis.

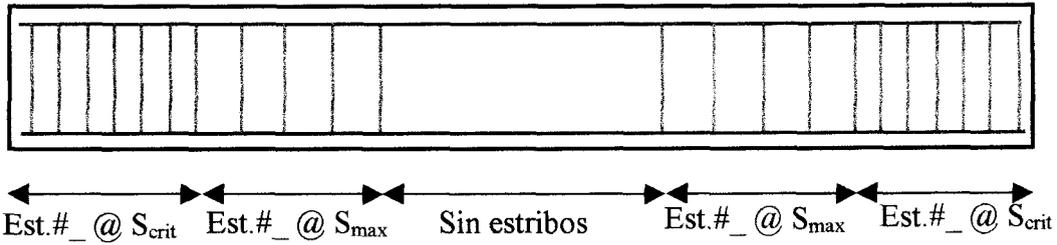
- Si se escogió una sola separación (usar S_{crit}), o 2 separaciones pero con $S_{crit} = S_{max}$ en ambos extremos.



- Si se escogió 2 separaciones.



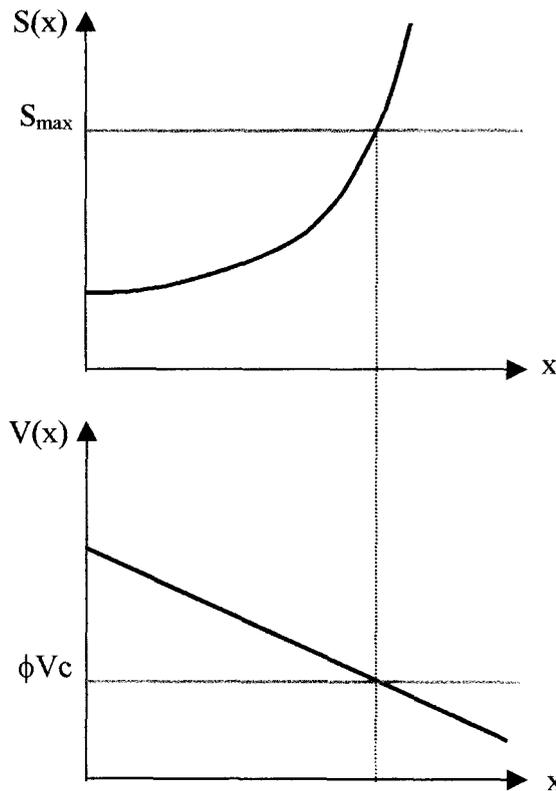
- Si se escogió 3 separaciones, y $S_{crit} \neq S_{max}$



Cabe aclarar que aunque sólo se están utilizando 2 separaciones, se utiliza el término 3 separaciones para diferenciarlo del caso anterior, cuando no hay una zona de la viga sin estribos.

Adicionalmente se incluyen en el programa dos gráficas:

- Gráfica de separación requerida $S(x)$ Vs. distancia, incluyendo S_{max}
- Gráfica de cortante actuante $V(x)$ Vs. distancia, incluyendo la resistencia al cortante aportada por el concreto ϕV_c .



CAPÍTULO 5

COLUMNAS

Una columna es un elemento estructural que se utiliza principalmente para resistir cargas de flexión o axiales o la combinación de ambas, y que tiene una altura de por lo menos tres veces su dimensión lateral menor. De acuerdo al tipo de falla que presentan, podemos clasificarlas en dos tipos:

- Columna corta: su resistencia está gobernada por las propiedades de los materiales.
- Columna larga o esbelta: su falla es por pandeo o pérdida de estabilidad.

A manera de referencia, el Reglamento del ACI-318-95 establece que se puede considerar una columna de un marco no contraventeado como corta cuando se cumpla que:

$$\left(\frac{KL_u}{r} \right) < 22$$

donde:

K = factor de longitud efectiva

L_u = longitud apoyada de la columna

r = radio de giro

En el presente capítulo y en el programa se consideran únicamente columnas cortas sujetas a flexión uniaxial, de sección transversal circular o rectangular (ver figura 1). Se considera que la columna está sujeta a una carga axial última (P_u) y a un momento flexionante último (M_u). Se puede definir la excentricidad como $e = \frac{M_u}{P_u}$, por lo que la flexión uniaxial se representa como una carga axial con una excentricidad dada.

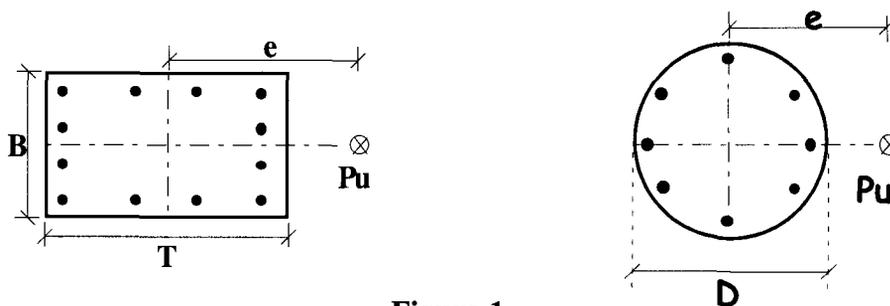


Figura 1

En la figura anterior

Pu: carga axial última

e: excentricidad de la carga

B: ancho de la columna

T: dimensión de la columna en la dirección de la flexión

D: diámetro de la columna circular

Los tipos de problemas a resolver utilizando el programa son los siguientes:

- Determinación del diagrama de interacción de la columna.
- Revisión-Diseño de columnas.
- Revisión de columnas.

5.1 SUPOSICIONES DE DISEÑO

El reglamento del ACI-318-95 establece las siguientes suposiciones de diseño para elementos sujetos a flexión y carga axial:

(Art. 10.2.1) Satisfacer las condiciones de equilibrio y compatibilidad de deformaciones.

(Art. 10.2.2) Secciones planas permanecen planas después de la deformación por flexión.

(Art. 10.2.3) La máxima deformación en la fibra extrema en compresión del concreto se supone igual a 0.003.

(Art. 10.2.4) El esfuerzo desarrollado por el acero se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Si } |\varepsilon_s| < \frac{f_y}{E_s}$$

$$f_s = E_s \varepsilon_s$$

De lo contrario

$$f_s = f_y \frac{\varepsilon_s}{|\varepsilon_s|} \quad \text{La relación } \frac{\varepsilon_s}{|\varepsilon_s|} \text{ se utiliza únicamente para dar el signo adecuado.}$$

donde:

f_y = esfuerzo de fluencia en el acero

ε_s = deformación unitaria en el acero

f_s = esfuerzo desarrollado por el acero

(Art. 10.2.5) La resistencia a tensión del concreto se considera igual a cero.

(Art. 10.2.7) Se utiliza la distribución rectangular equivalente de esfuerzos de compresión en el concreto propuesta por Whitney.

5.2 DIAGRAMA DE INTERACCIÓN

El programa obtiene 50 puntos del diagrama de interacción de una columna sujeta a flexión uniaxial con sección transversal rectangular o circular. Tenemos como datos los siguientes parámetros:

- Propiedades de los materiales
 - f'_c : resistencia a la compresión del concreto
 - f_y : esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo
- Dimensiones de la sección transversal y acero de refuerzo

La columna rectangular tiene dimensiones B y T, con n capas de acero de refuerzo (ver figura 2).

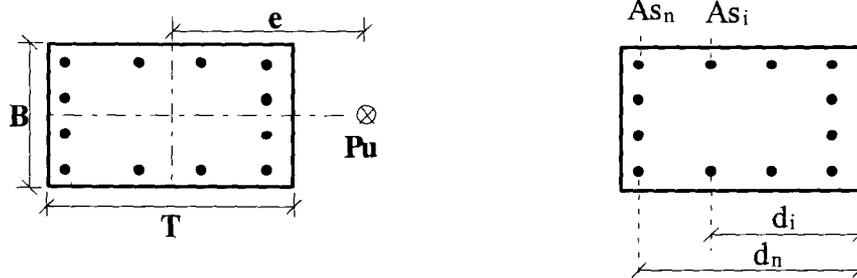


Figura 2

La columna circular tiene diámetro D y n varillas de refuerzo (ver figura 3).

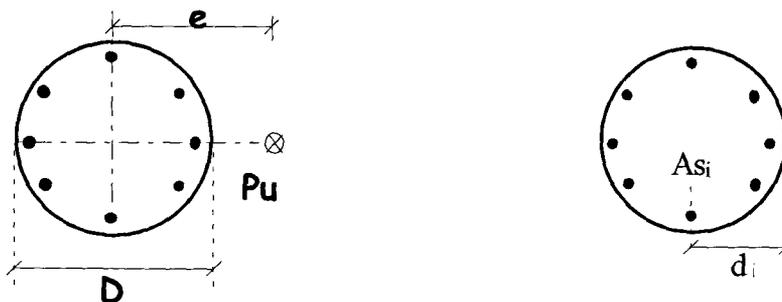


Figura 3

En las figuras 2 y 3:

A_{s_i} : área de acero de la i ésima capa

d_i : profundidad de la i ésima capa medida desde la fibra extrema en compresión.

- Refuerzo lateral
Estribos o espirales.

Procedimiento:

1. Cálculo del centroide plástico (X_p).

- *Columnas rectangulares*

- a) Si el refuerzo es simétrico, como en la figura 2

$$X_p = T/2$$

- b) Si el refuerzo no es simétrico, como en la figura 4

$$X_p = \frac{0.5(0.85 f'_c)BT^2 + \sum_{i=1}^n F_{s_i}d_i}{0.85 f'_c BT + \sum_{i=1}^n F_{s_i}}$$

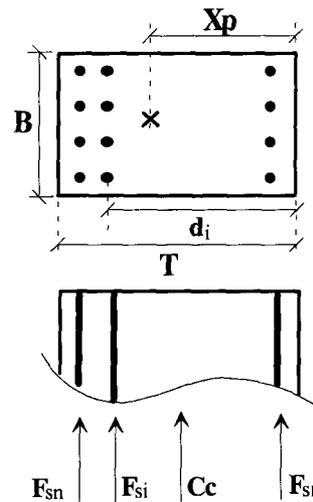


Figura 4

- *Columnas circulares*

Se considera que el refuerzo es simétrico, por lo tanto

$$X_p = D/2 = r$$

donde r = radio de la columna

2. Cálculo de β_1

Dado el f'_c del concreto, en kg/cm^2

Si $f'_c \leq 280$

$$\beta_1 = 0.85$$

Si $280 < f'_c \leq 560$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05}{70}(f'_c - 280)$$

Si $560 < f'_c$

$$\beta_1 = 0.65$$

3. Fijar el valor del factor de reducción ϕ

$\phi = 0.7$ cuando se usan estribos como refuerzo lateral

$\phi = 0.75$ cuando se usan espirales como refuerzo lateral

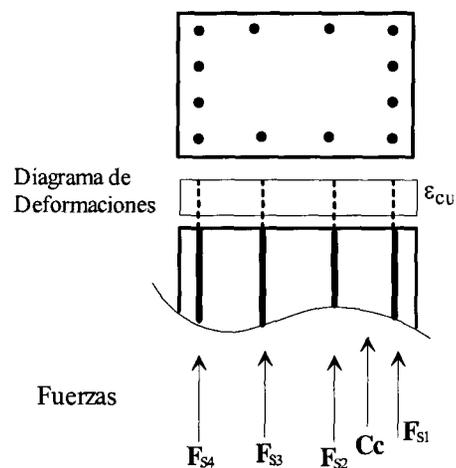
4. Obtener el primer punto del diagrama de interacción para momento cero (ϕP_0), es decir cuando $c = \infty$ (ver figura 5)

Figura 5

▪ Columna rectangular

$$\phi P_0 = \sum_{i=1}^n A_{si} f_y + 0.85 f'_c B T$$

- *Columna circular*

$$\phi P_0 = \sum_{i=1}^n A_{si} f_y + 0.85 f'_c \pi r^2$$

5. Para obtener el segundo punto del diagrama de interacción se fija el valor de la profundidad del eje neutro $c = T$ (ver figura 6). Para obtener los puntos restantes el valor de c se calcula de la siguiente manera:

$$c_{nueva} = c_{anterior} - \frac{T}{50}$$

En columnas circulares se utiliza D en vez de T . Cada punto del diagrama de interacción (ϕMn , ϕPn) se obtiene siguiendo los pasos 6 a 9.

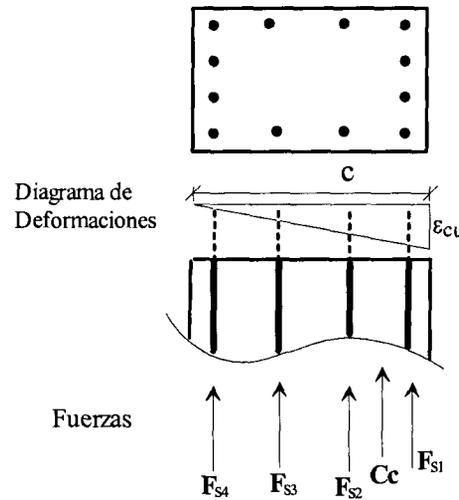


Figura 6

6. Para el valor dado c , obtenemos la fuerza del área de concreto en compresión (Cc) y su centroide (Yc).
- *Columnas rectangulares* (ver figura 7).

$$a = \beta_1 c$$

$$Cc = 0.85 f'_c (aB)$$

$$Yc = \frac{a}{2}$$

donde a = profundidad del área en compresión del concreto

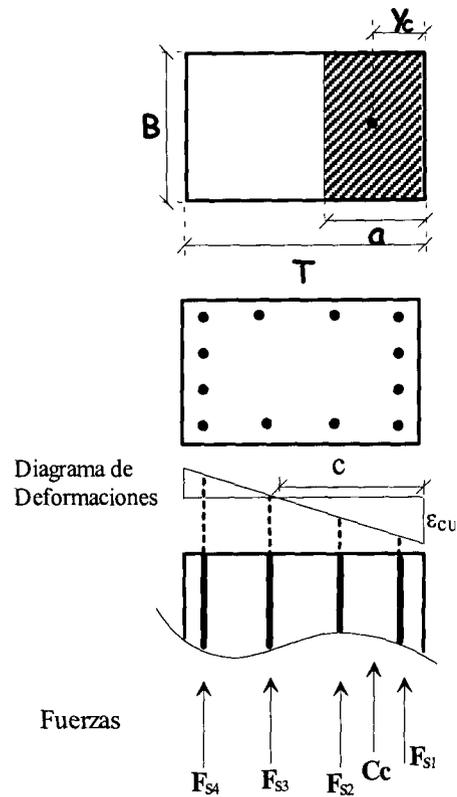


Figura 7

- Columnas circulares

$$a = \beta_1 c$$

a) Dados a y r , se calculan los siguientes parámetros

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{r^2 - (r-a)^2}}{r-a} \right)$$

$$\text{Sen} \alpha = \frac{\sqrt{r^2 - (r-a)^2}}{r}$$

$$\text{Cos} \alpha = \frac{|r-a|}{r}$$

donde:

a = profundidad del área en compresión del concreto

r = radio de la columna circular

b) Obtener A_1 y y_1 (Ver figuras 8 y 9).

$$A_1 = r^2(\alpha - \text{Sen}\alpha\text{Cos}\alpha)$$

$$y_1 = \frac{2r}{3} \left(\frac{\text{Sen}^3\alpha}{\alpha - \text{Sen}\alpha\text{Cos}\alpha} \right)$$

c) Determinar el área de concreto en compresión (A) y su distancia centroidal (y_c), medida desde la fibra más alejada en compresión.

Tenemos dos casos:

Caso 1. Si $a \leq r$

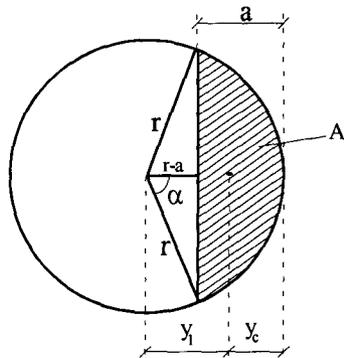


Figura 8

$$A = A_1$$

$$y_c = r - y_1$$

Caso 2. Si $a > r$

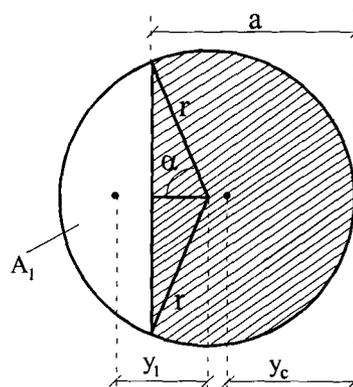


Figura 9

$$A = \pi r^2 - r^2(\alpha - \text{Sen}\alpha\text{Cos}\alpha)$$

$$y_c = \frac{\pi r^3 - A_1(r + y_1)}{\pi r^2 - A_1}$$

7. Obtener la fuerza que aporta cada capa de acero (ver figura 7)

a) Deformación unitaria de cada capa de acero

$$\varepsilon_{si} = \varepsilon_{cu} \left(\frac{d_i}{c} - 1 \right)$$

b) Esfuerzo en cada capa de acero

$$\text{Si } |\varepsilon_{si}| < \frac{f_y}{E_s}$$

$$f_{si} = E_s \varepsilon_{si}$$

De lo contrario

$$f_{si} = f_y \frac{\varepsilon_{si}}{|\varepsilon_{si}|}$$

c) Fuerza que aporta cada capa de acero

$$F_{si} = A_{si} f_{si}$$

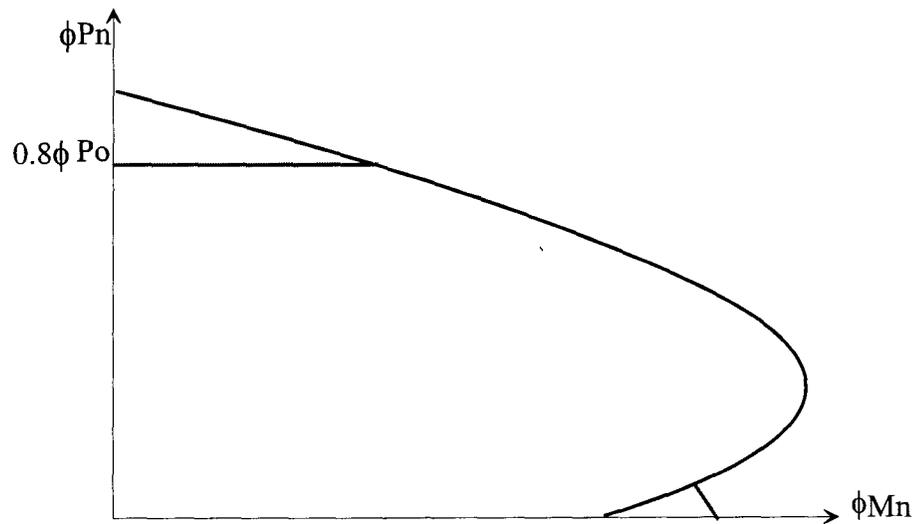
donde las fuerzas de tensión toman signo positivo.

8. Obtener ϕP_n de la columna

$$\phi P_n = \phi \left(\sum_{i=1}^n F_{si} + Cc \right)$$

9. Obtener ϕMn de la columna

$$\phi Mn = \phi \left(Cc(X_p - Y_c) - \sum_{i=1}^n F_{si}(X_p - d_i) \right)$$



En el diagrama de interacción anterior se incluyen las correcciones indicadas en el reglamento ACI 318-95.

Para la corrección en la parte superior:

$$0.8\phi P_o = 0.8\phi \left[0.85 f'_c (A_g - A_s) + \sum A_s f_y \right]$$

La corrección en la parte inferior varía el factor de corrección ϕ desde 0.7 (o 0.75 según el tipo de refuerzo lateral) hasta 0.9, e inicia a partir del siguiente valor:

$$\phi P_n = 0.1 f'_c A_g, \text{ siendo } A_g \text{ el área gruesa de concreto de la sección.}$$

5.3 REVISIÓN-DISEÑO DE COLUMNAS

Se desea diseñar el refuerzo para una columna sujeta a flexión uniaxial, teniendo como datos los siguientes parámetros:

- Cargas
 - P_u : carga axial factorizada
 - M_u : momento factorizado
- Propiedades de los materiales
 - f'_c : resistencia a la compresión del concreto
 - f_y : esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo
- Refuerzo lateral
 - Estribos o espirales
- Dimensiones

Las dimensiones de la columna son las mostradas en la figura 10, para columna circular y rectangular respectivamente. Se conoce también el tamaño de la varilla a utilizar.

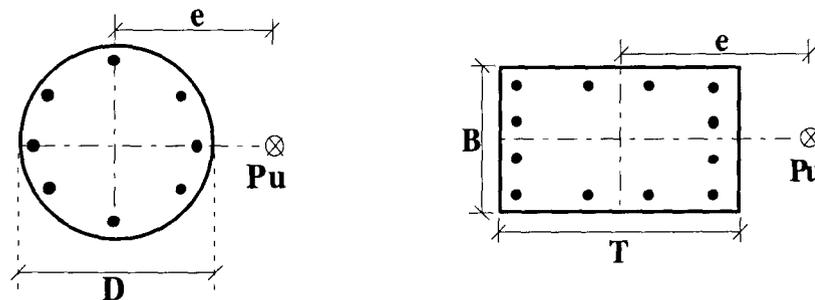


Figura 10

Se considera que el refuerzo será simétrico, por lo que el centroide plástico está dado por:

- *Columna circular*

$$X_p = \frac{D}{2}$$

- *Columna rectangular*

$$X_p = \frac{T}{2}$$

Procedimiento:

1. Fijar el área de acero como el 1% del área gruesa de concreto de la columna.

$$A_s = 0.01A_g$$

Por lo tanto, la cuantía de la columna (ρ) será:

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = 0.01$$

2. Obtener el área de acero en cada capa y su distancia donde se encuentra la fibra en compresión.

$$N = \frac{\rho A_g}{A_{sv}} \text{ y luego redondear hacia arriba al entero más cercano}$$

donde:

N : número de varillas a utilizar

ρ : cuantía de la columna

A_g : área gruesa de la columna

A_{sv} : área de la varilla a utilizar

▪ *Columnas circulares*

El área de acero de cada capa será:

$$A_{si} = A_{sv}$$

La distancia desde la fibra en compresión de cada capa sera:

$$d_i = r - (r - rec) \cos((i-1)\theta)$$

donde:

$$\theta = \frac{2\pi}{N}, \text{ en radianes}$$

θ , d_i y A_{si} se aprecian en la figura 11.

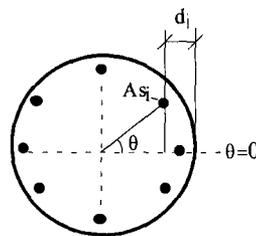


Figura 11

▪ *Columnas rectangulares*

Se considera un arreglo simétrico de varillas en cuatro caras, tal como se aprecia en la figura 12.

Si $N \leq 4$

Usar un arreglo con 4 varillas

Si $4 < N \leq 8$

Usar un arreglo con 8 varillas

Si $8 < N \leq 12$

Usar un arreglo con 12 varillas

Si $12 < N \leq 16$

Usar un arreglo con 16 varillas

Si $16 < N \leq 20$

Usar un arreglo con 20 varillas

Si $20 < N$

Se pide al usuario utilizar una varilla más grande y se regresa al paso 2.

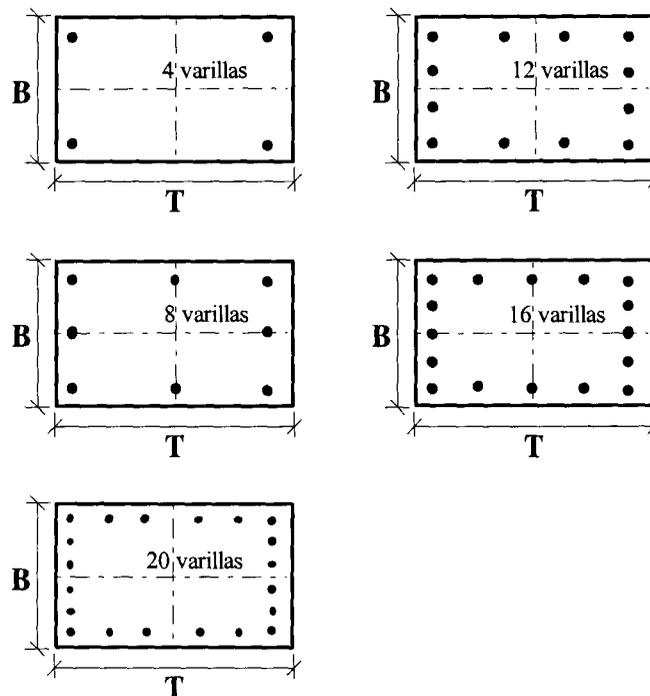


Figura 12

3. Obtener los puntos del diagrama de interacción con el algoritmo correspondiente.
4. Verificar que la columna resista la combinación de carga (M_u , P_u).
 - a) Obtener ϕP_o

$$\phi P_o = \phi \left[0.85 f'_c (A_g - A_s) + \sum A_s f_y \right]$$

Si $P_u > 0.8\phi P_o$ la columna no resiste. Continuar con el paso 5.

- b) Con dos puntos consecutivos del diagrama de interacción, obtener los puntos *aux1* y *aux2* (ver figura 13), contenidos en la recta que pasa por el origen y por el punto

(M_u , P_u). La ecuación de esta recta es $y = \frac{P_u}{M_u} M_i$, de tal manera que las

ordenadas para *aux1* y *aux2* se obtienen de la siguiente manera:

$$aux1 = \frac{P_u}{M_u} M_i$$

$$aux2 = \frac{P_u}{M_u} M_{i+1}$$

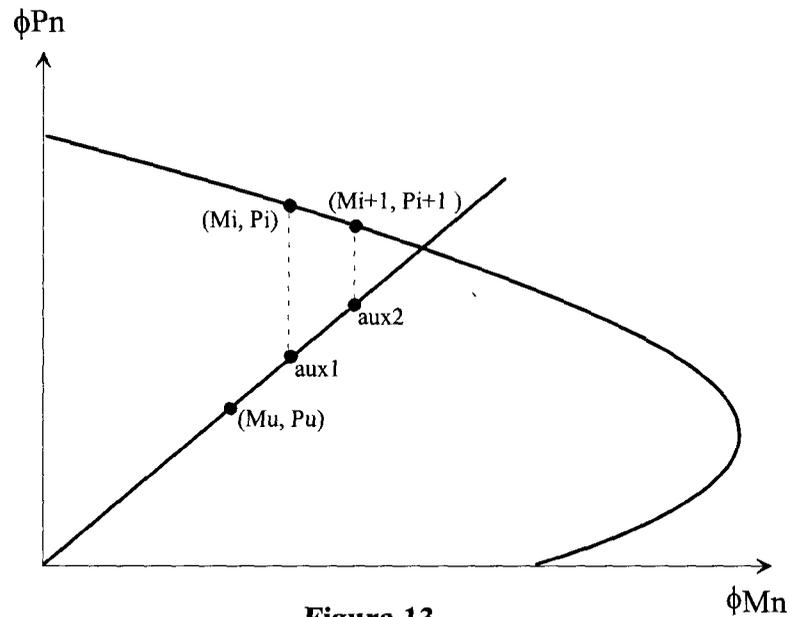


Figura 13

Repetir el proceso hasta obtener dos puntos consecutivos que cumplan con la siguiente expresión:

$$\text{Signo}(P_i - aux1) \neq \text{Signo}(P_{i+1} - aux2)$$

- c) Obtener la coordenada (cruceX, cruceY), mostrada en la figura 14.

$$m = \frac{P_{i+1} - P_i}{M_{i+1} - M_i}$$

$$cruceX = \frac{P_i - mM_i}{\frac{P_u}{M_u} - m}$$

$$cruceY = \frac{P_u}{M_u} cruceX$$

Si $P_u \leq cruceY$ y $M_u \leq cruceX$ la columna sí resiste la combinación de carga (M_u , P_u), por lo que habrá concluido el diseño del refuerzo. De lo contrario continuar en el paso 5.

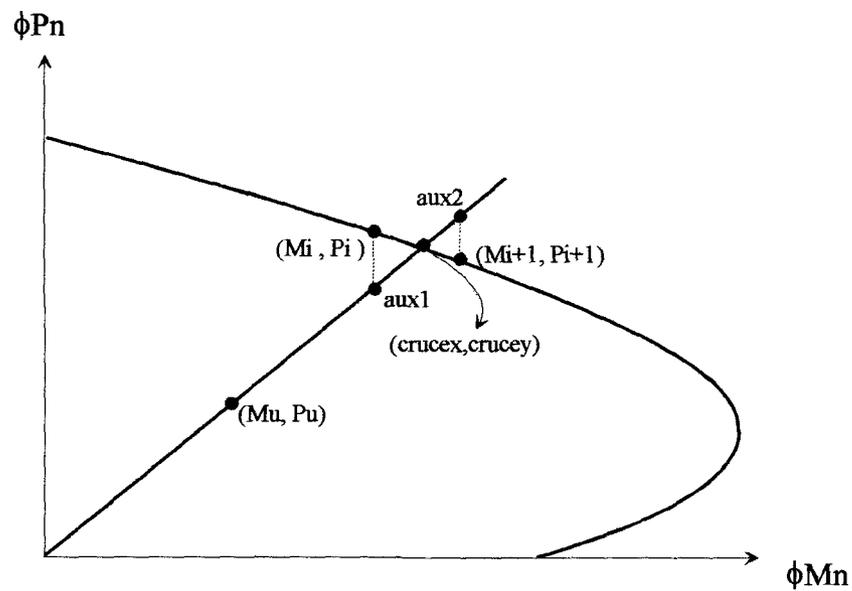


Figura 14

5) Aumentar la cuantía de la columna y repetir pasos 2 a 4.

$$\rho_{nueva} = \rho_{anterior} + 0.005$$

5.4 REVISIÓN DE COLUMNAS

Se desea revisar si una columna determinada resiste una combinación de carga (M_u , P_u).

Tenemos como datos los siguientes parámetros:

- Propiedades de los materiales: f'_c y f_y .
- Dimensiones de la sección transversal y acero de refuerzo.
- Refuerzo lateral.

Procedimiento:

1. Obtener los puntos del diagrama de interacción, siguiendo el procedimiento explicado en la sección 5.2.
2. Revisar que la columna resista la combinación de carga, utilizando el procedimiento de la sección 5.3, paso 4.

CAPÍTULO 6

MANUAL DEL USUARIO

El programa inicia con una portada de presentación, donde se indica el título de este proyecto de tesis y los autores del mismo. Al seleccionar la opción de *continuar*, el programa se sitúa en el menú principal del mismo.

6.1 MENÚ PRINCIPAL

En el menú principal del programa contiene los cuatro temas principales que se discutieron en el desarrollo de esta tesis (ver figura 1):

- Análisis
- Flexión
- Cortante
- Columnas



Figura1. Menú Principal

CAPÍTULO 6

MANUAL DEL USUARIO

El programa inicia con una portada de presentación, donde se indica el título de este proyecto de tesis y los autores del mismo. Al seleccionar la opción de *continuar*, el programa se sitúa en el menú principal del mismo.

6.1 MENÚ PRINCIPAL

En el menú principal del programa contiene los cuatro temas principales que se discutieron en el desarrollo de esta tesis (ver figura 1):

- Análisis
- Flexión
- Cortante
- Columnas



Figura1. Menú Principal

El menú de cortante aparece congelado hasta que se ha completado el análisis de una viga utilizando el menú de análisis. Para manipular los menús se utiliza únicamente el ratón de la computadora.

6.2 MENÚ DE ANÁLISIS

Este menú permite realizar el análisis de vigas isostáticas e hiperestáticas. Contiene los siguientes submenús (ver figura 2):

- Unidades
- Geometría
- Apoyos
- Cargas
- Analizar
- Interactivo
- Resultados

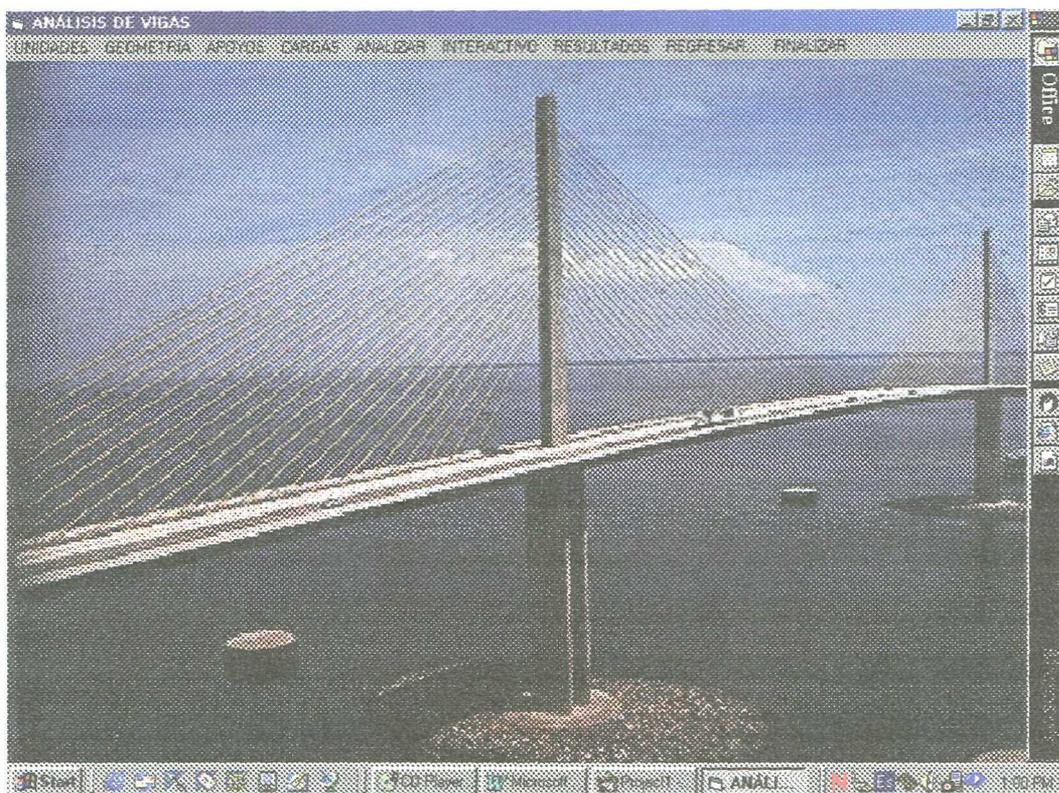


Figura 2. Análisis de vigas

El menú de cortante aparece congelado hasta que se ha completado el análisis de una viga utilizando el menú de análisis. Para manipular los menús se utiliza únicamente el ratón de la computadora.

6.2 MENÚ DE ANÁLISIS

Este menú permite realizar el análisis de vigas isostáticas e hiperestáticas. Contiene los siguientes submenús (ver figura 2):

- Unidades
- Geometría
- Apoyos
- Cargas
- Analizar
- Interactivo
- Resultados

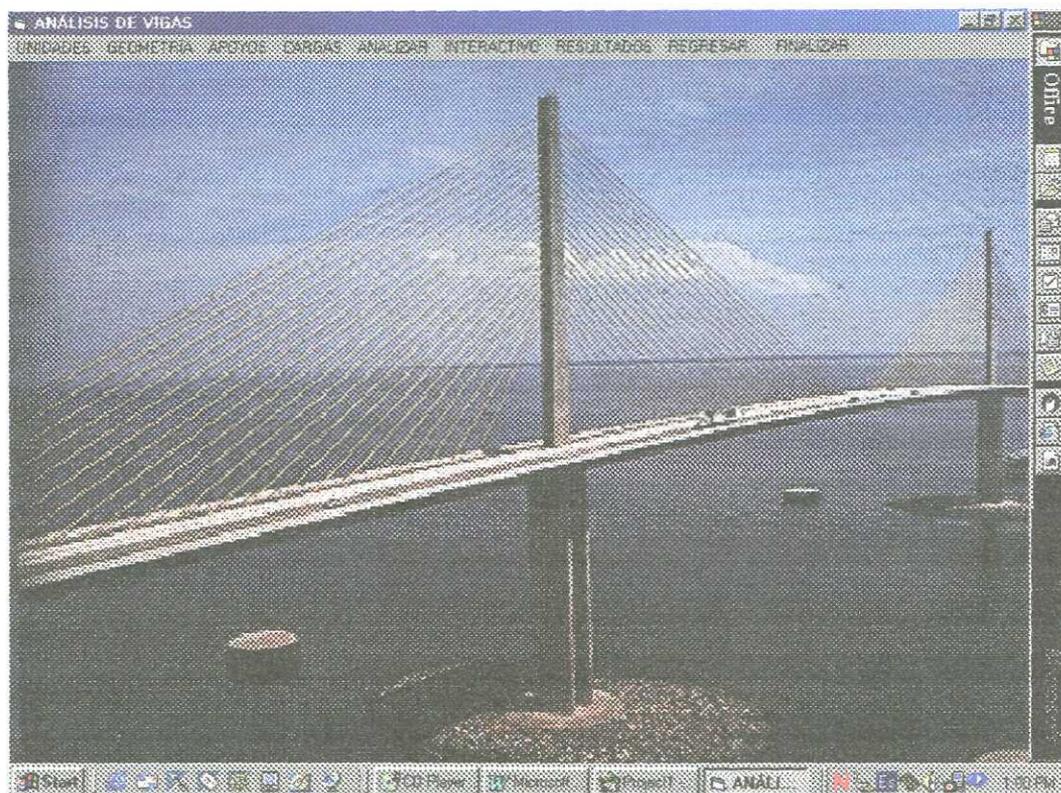


Figura 2. Análisis de vigas

Los menús aparecen congelados indicando al usuario el orden adecuado para introducir los datos. Conforme se le da al programa la información solicitada los menús se van encendiendo.

El menú de *Unidades* tiene dos opciones:

- Sistema inglés, si se desea utilizar libras y pies,
- Sistema métrico, para utilizar kilogramos y metros.

Las unidades corresponden a cargas y distancias respectivamente.

En el menú de *Geometría* el usuario proporciona el número de claros de la viga y la longitud de cada uno (ver figuras 3 y 4). El programa permite analizar vigas de hasta 5 claros, considerando que para vigas de más de 5 claros los resultados serían repetitivos para los claros interiores.

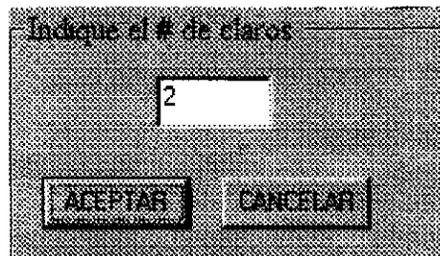


Figura 3. Número de claros

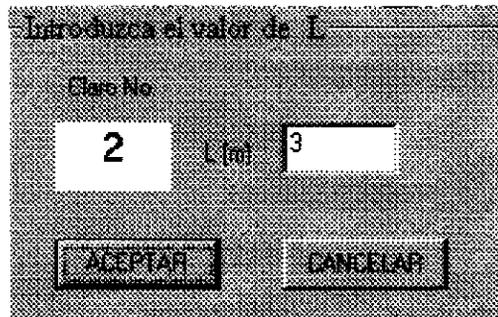


Figura 4. Longitud de cada claro

En el menú de *Apoyos* el usuario selecciona las condiciones de apoyo en los extremos izquierdo y derecho de la viga (ver figura 5). Las condiciones de apoyo disponibles son:

- Articulado
- Empotrado
- Libre

El programa muestra en pantalla la geometría de la viga y las condiciones de apoyo, tal como se muestra en la figura 6.

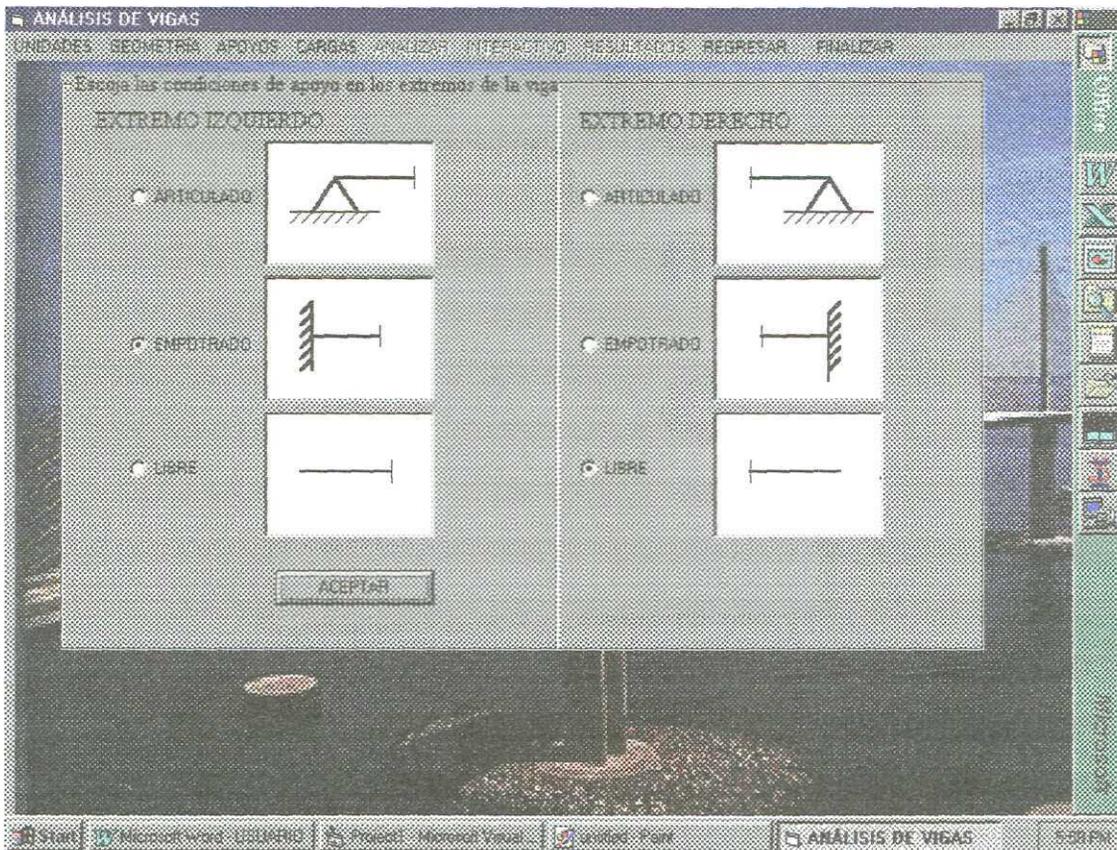


Figura 5. Apoyos

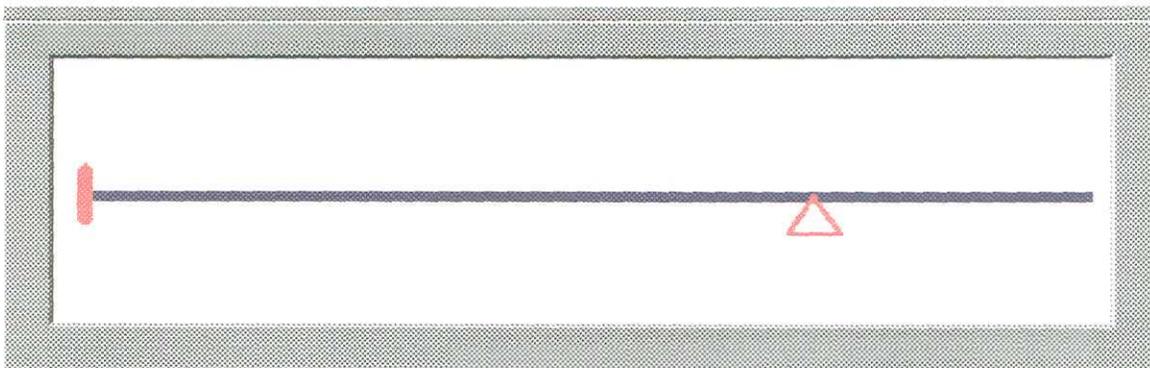


Figura 6. Geometría y apoyos

El menú de *Cargas* permite considerar las siguientes condiciones de carga por claro:

- Hasta dos cargas distribuidas
- Hasta dos momentos concentrados
- Hasta cinco cargas puntuales

Los datos solicitados para cada tipo de carga se muestran en las figuras 7, 8 y 9.

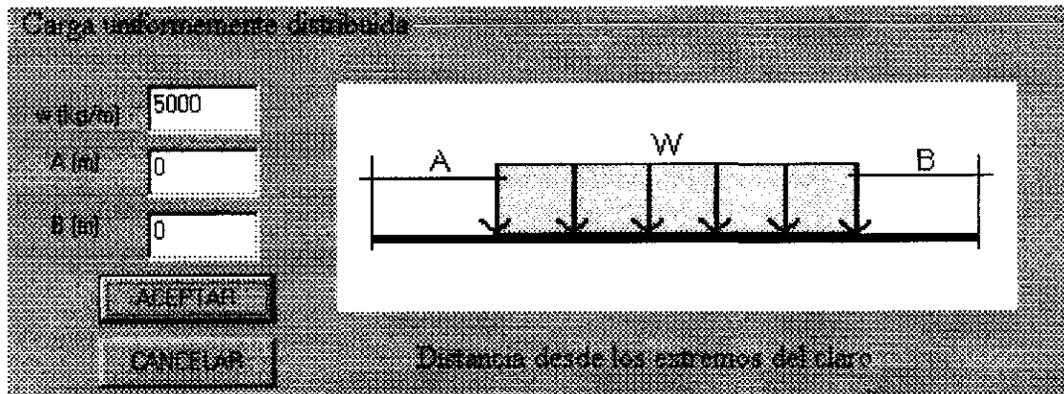


Figura 7. Carga uniformemente distribuida

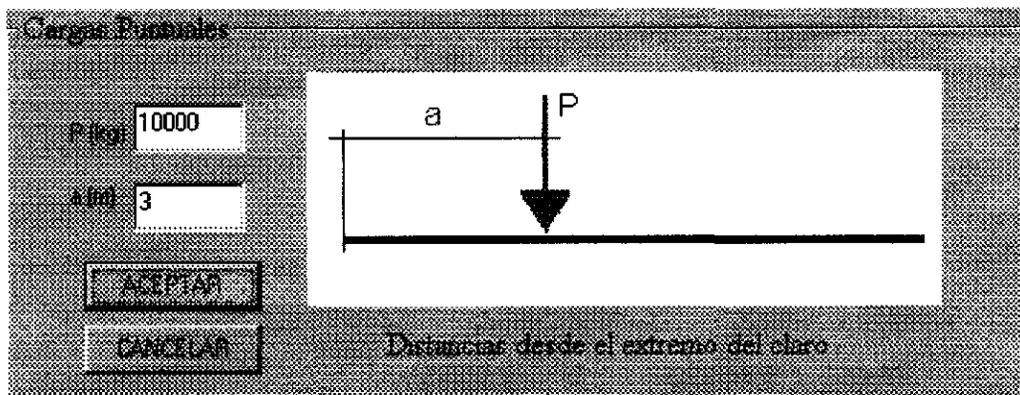


Figura 8. Carga puntual

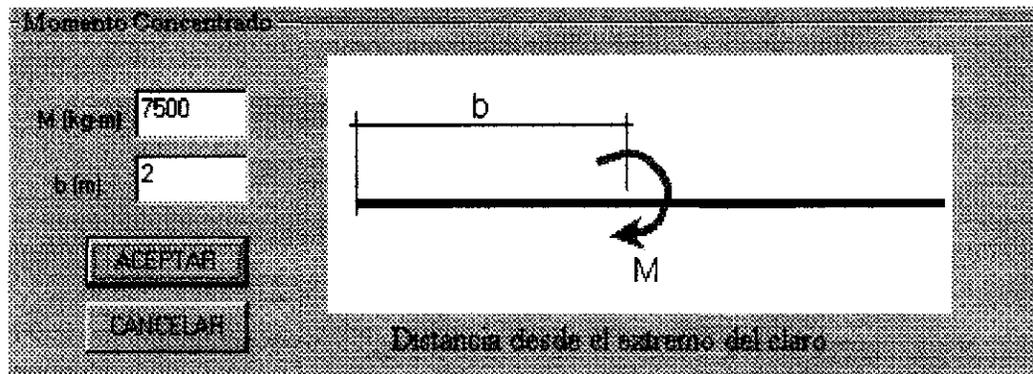


Figura 9. Momento Concentrado

Para cada tipo de carga se puede colocar en todos los claros o bien escoger en cuales se considerará. En ambos casos el usuario debe hacer click sobre la viga utilizando el ratón. Cuando haya escogido los claros, se debe presionar el botón derecho para que la carga sea

asignada (ver figura 10). El programa también permite borrar cargas de toda la viga o de los claros que el usuario escoja, siguiendo el mismo procedimiento.

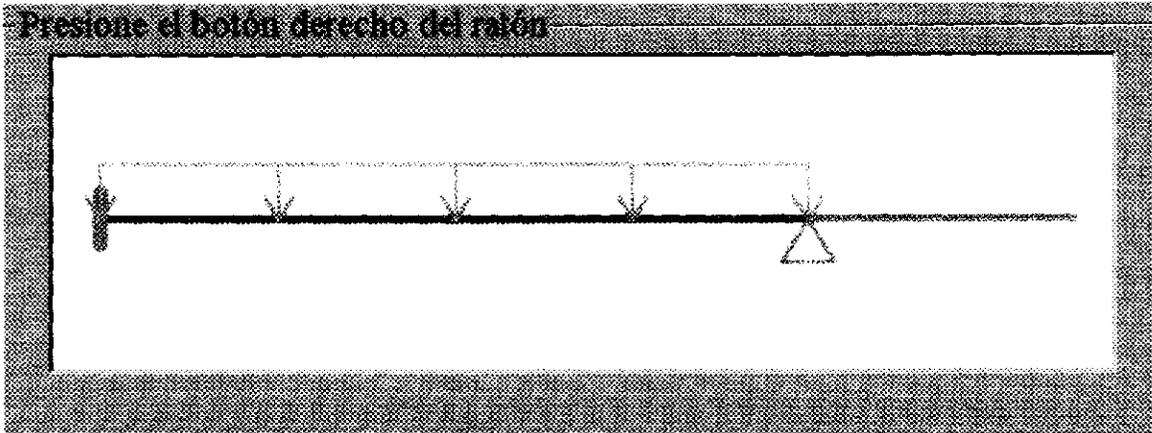


Figura 10. Colocación de cargas por claro

Cuando el usuario termina de colocar las cargas, la viga se encuentra lista para analizar, tal como se muestra en la figura 11.

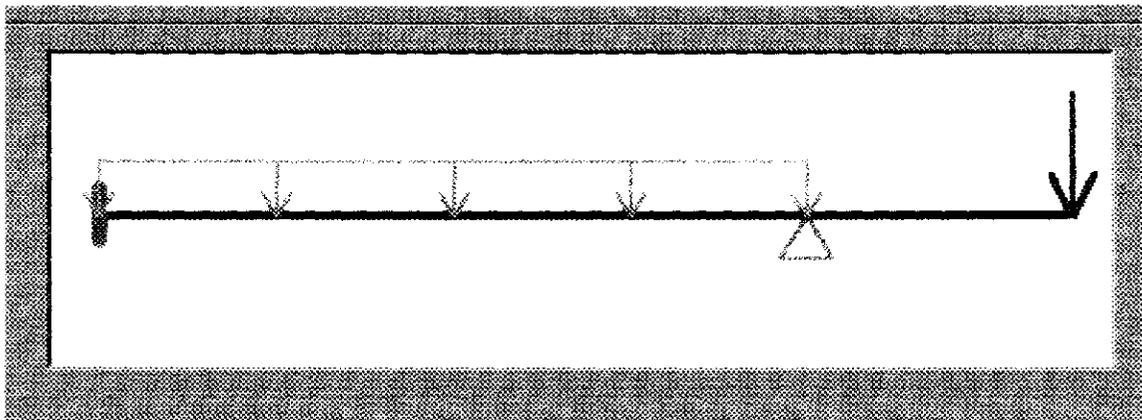


Figura 11. Cargas sobre la viga

El menú *Interactivo* contiene un módulo que permite al usuario dibujar en forma los diagramas de corte, momento y deformada utilizando el ratón de la computadora. El programa presenta la geometría de la viga con sus cargas, y dos espacios cuadrículados para los diagramas de corte y momento respectivamente (ver figura 12). El usuario debe escoger el tipo de diagrama que se desea dibujar, ya sea lineal o parabólico. Se debe empezar con el diagrama de corte, dibujando el diagrama del extremo izquierdo al extremo derecho.

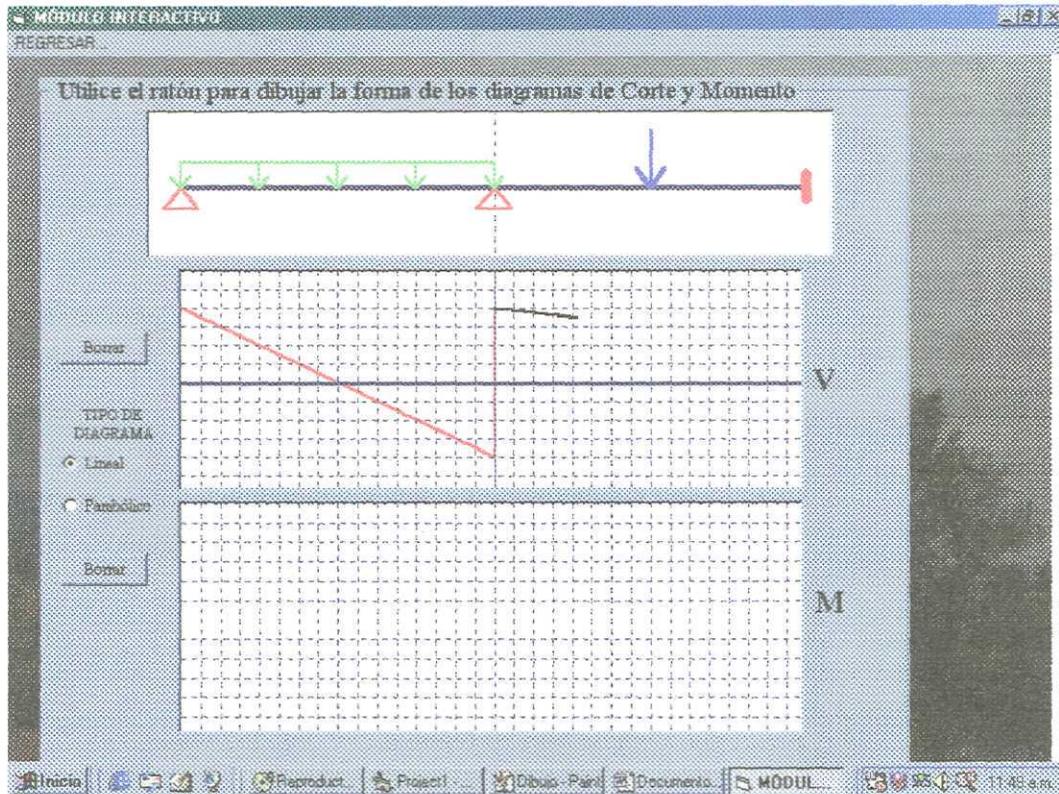


Figura 12. Módulo interactivo

Si el usuario comete algún error, el programa presenta un mensaje en pantalla indicando las causas del mismo (ver figura 13). Cuando el usuario termina satisfactoriamente el diagrama, así se lo hace saber al usuario (ver figura 14). Al concluir el diagrama de corte, el usuario puede empezar el diagrama de momento, y de la misma manera el programa va corrigiendo al usuario cuando comete algún error (ver figuras 15 y 16). De la misma forma el usuario puede dibujar la deformada de la viga, siendo corregido en pantalla si comete algún error (ver figura 17).

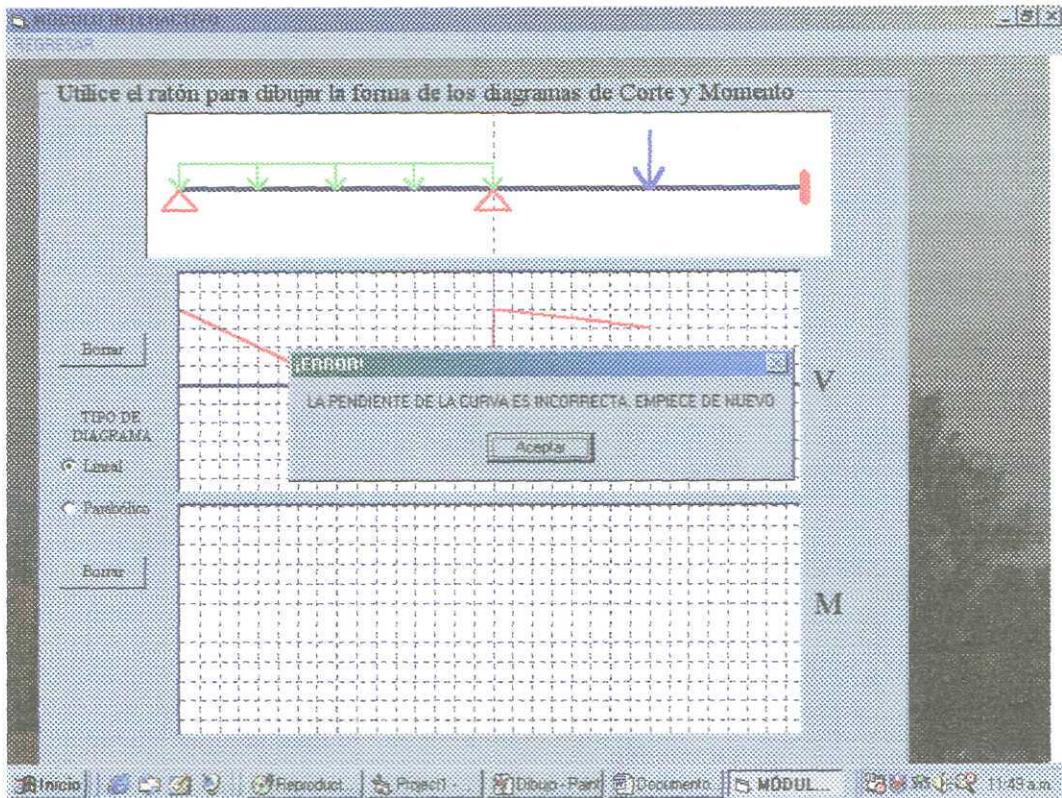


Figura 13. Módulo interactivo

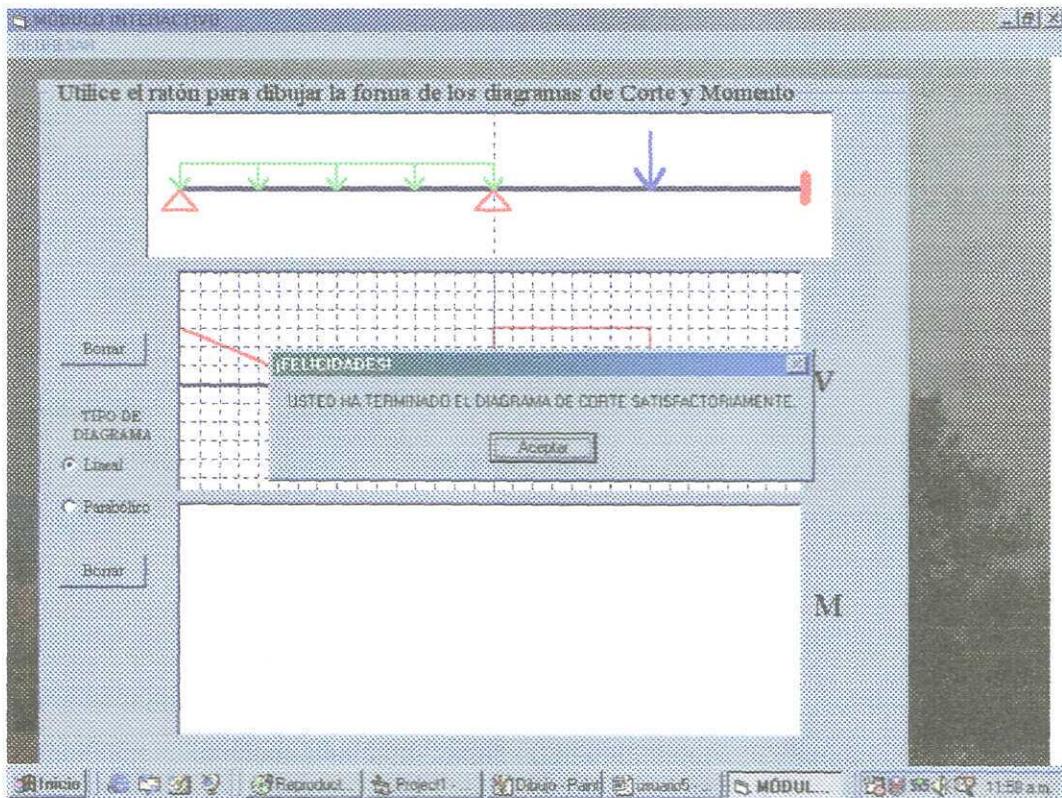


Figura 14. Módulo interactivo

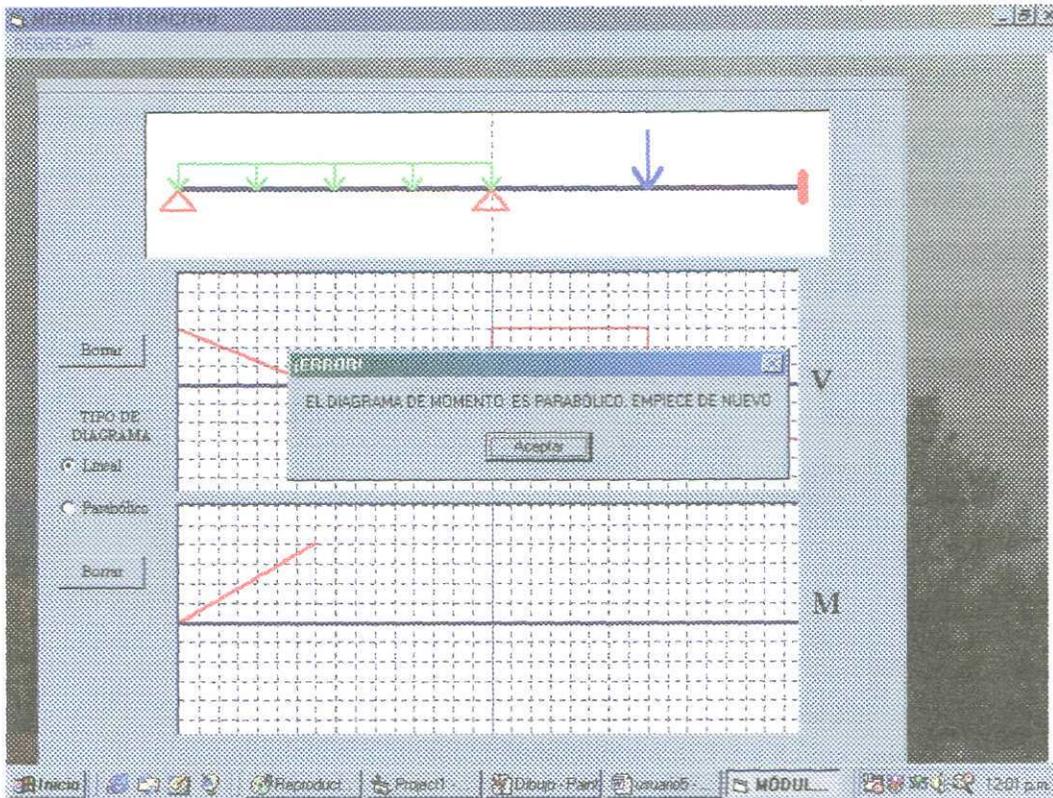


Figura 15. Módulo interactivo

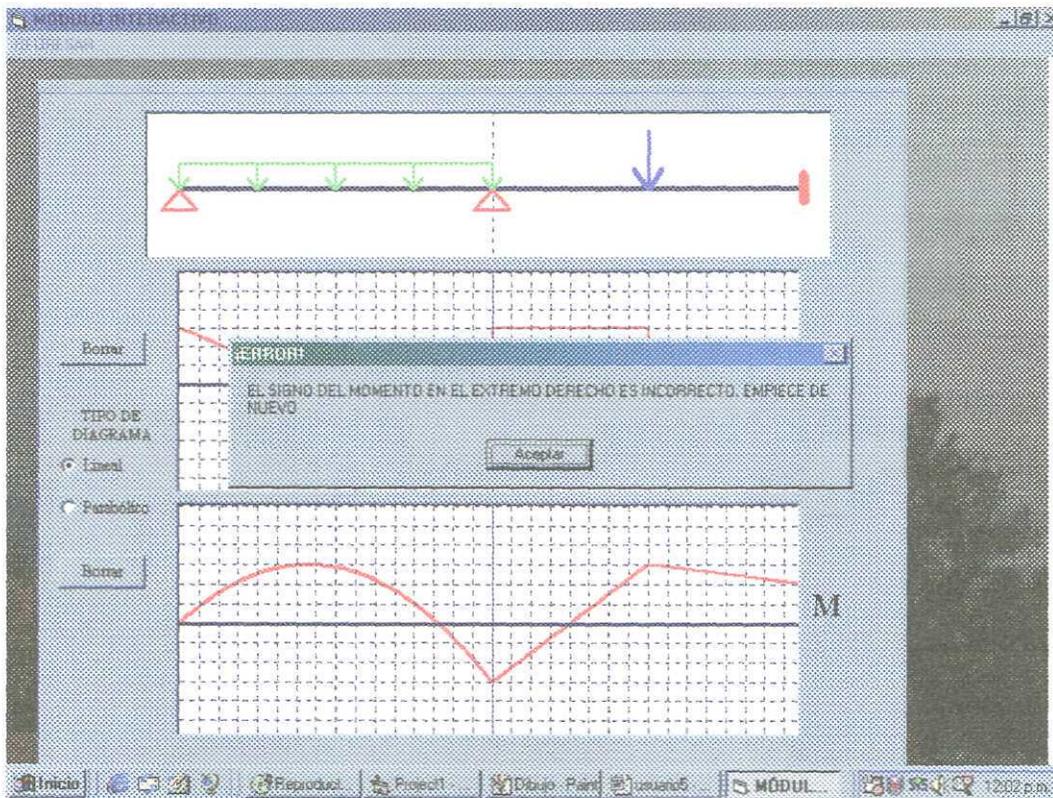


Figura 16. Módulo interactivo

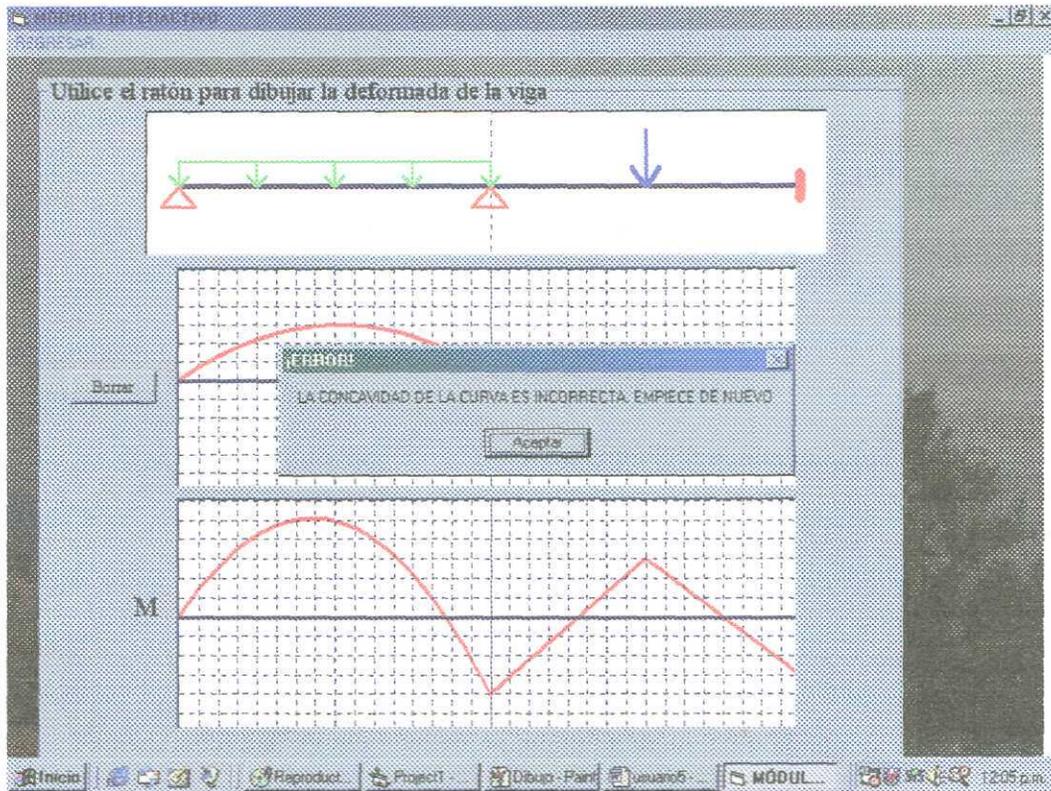


Figura 17. Módulo interactivo

El menú de resultados permite al usuario ver los resultados exactos del análisis, a través de los diagramas de corte y momento. El programa muestra el diagrama de corte (figura 18), el diagrama de momento (figura 19) o ambos diagramas juntos (figura 20). Además se incluyen resultados numéricos para los extremos de los claros y en el caso del diagrama de momento también se incluye el valor de momento positivo máximo.

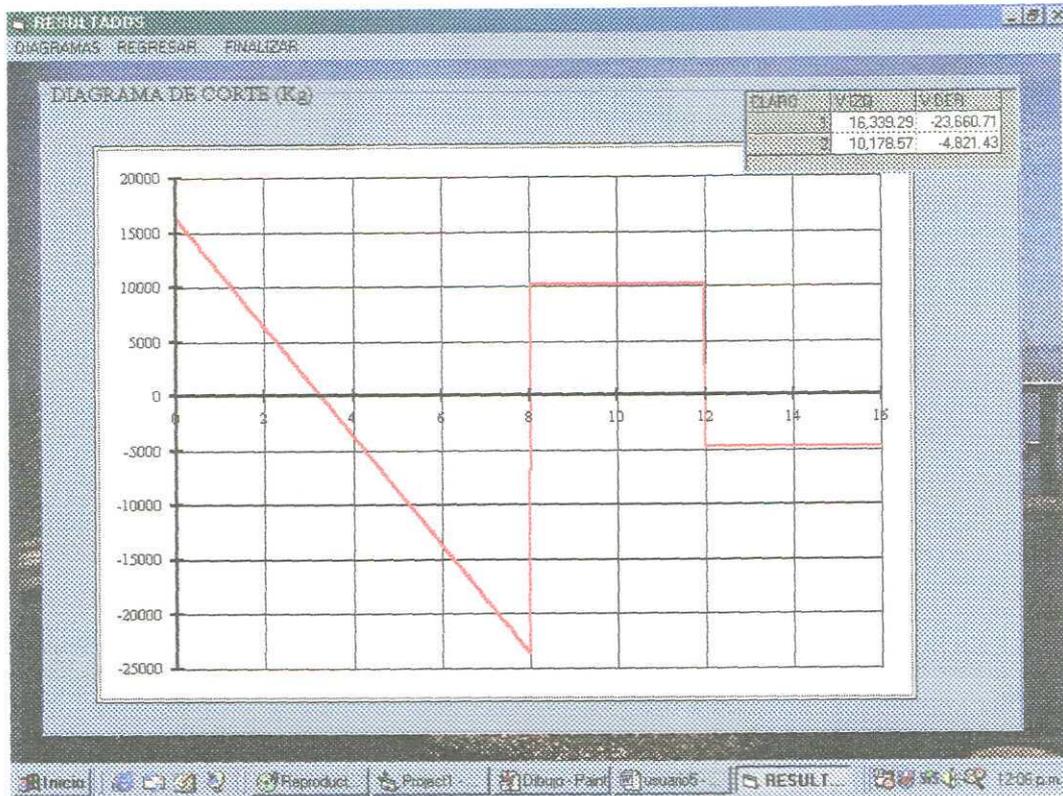


Figura 18. Diagrama de Corte

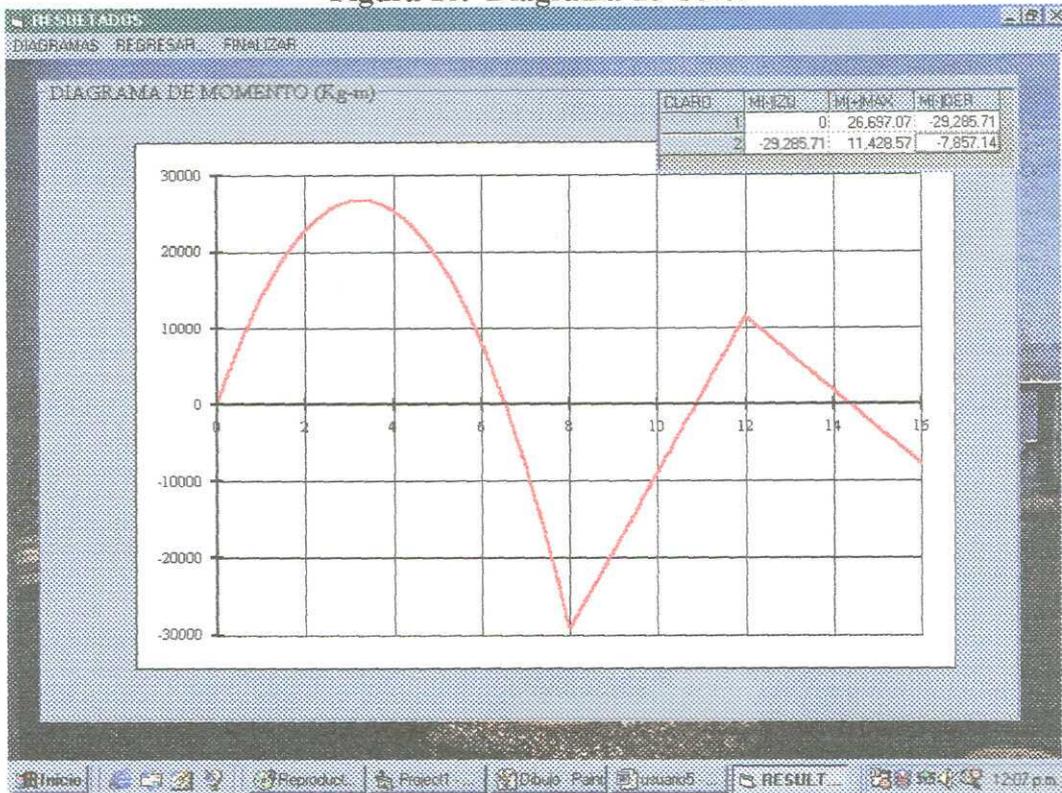


Figura 19. Diagrama de momento

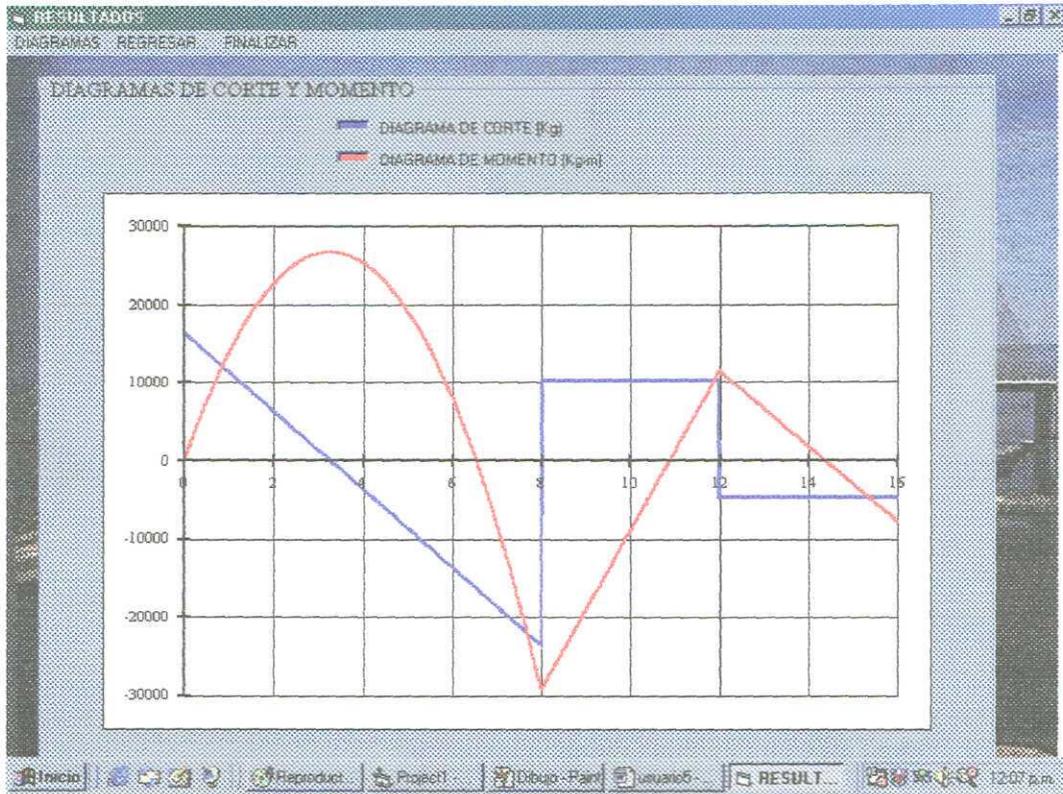


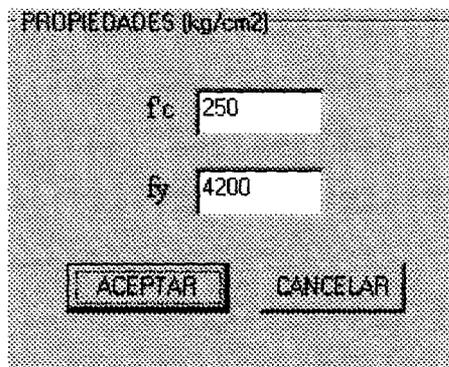
Figura 20. Diagramas de corte y momento

6.3 MENÚ DE FLEXIÓN

El menú de flexión contiene los siguientes submenús:

- Materiales
- Sección transversal
- Momento resistente
- Comportamiento

El menú *Materiales* solicita al usuario las propiedades de los materiales: f'_c del concreto y f_y del acero.



PROPIEDADES (kg/cm²)

f_c 250

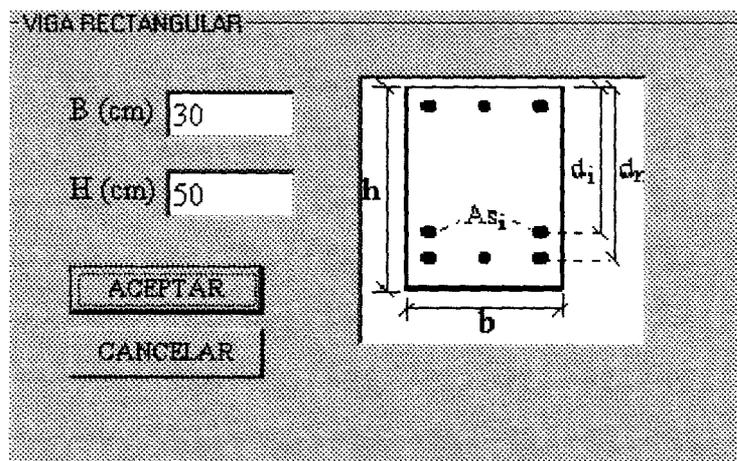
f_y 4200

ACEPTAR CANCELAR

Figura 21. Propiedades de los materiales

El menú *Sección transversal* permite al usuario introducir las dimensiones de la sección transversal. El programa tiene cinco opciones para la sección transversal:

- Rectangular
- T
- Doble T
- Cajón
- Triangular



VIGA RECTANGULAR

B (cm) 30

H (cm) 50

ACEPTAR

CANCELAR

Diagrama de la sección transversal rectangular con dimensiones b (anchura) y h (altura). Se muestran los ejes de los ejes de refuerzo (d_i y d_r) y el área de refuerzo (A_s).

Figura 22. Sección rectangular

VIGA T

B (cm)

B_w (cm)

H (cm)

H_f (cm)

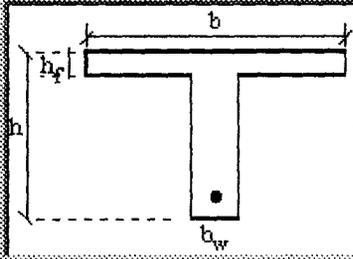


Figura 23. Sección T

VIGA TRIANGULAR VERTICE HACIA ABAJO

B (cm)

H (cm)

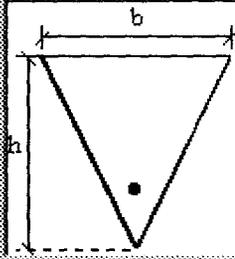


Figura 24. Sección triangular con vértice hacia abajo

El menú *Momento resistente* contiene tres opciones que permiten al usuario resolver los siguientes tipos de problemas:

- Revisión
- Revisión-Diseño
- Determinación de la gráfica ϕMn Vs *Curvatura*

Para problemas de Revisión, el usuario debe proporcionar como dato el acero de refuerzo que tiene la sección transversal, considerando el número de capas de acero y el área de acero que tiene cada una de ellas.

INDIQUE EL NÚMERO DE CAPAS DE ACERO

2

ACEPTAR CANCELAR

Figura 25. Número de capas de acero

CAPA NO.

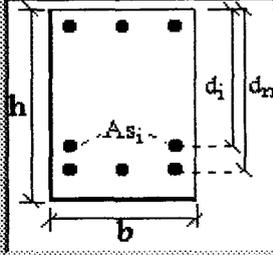
2

A_s (cm²) 20.28

d_i (cm) 44

ACEPTAR

CANCELAR



El diagrama muestra una sección rectangular de una viga con anchura b y altura h . Se indican dos niveles de acero: d_1 para el nivel superior y d_2 para el nivel inferior. El área de acero en el nivel superior se denota como A_{s1} .

Figura 26. Área de acero en cada capa.

Posteriormente el usuario debe escoger el método para calcular la fuerza de compresión en el concreto, ya sea con el bloque rectangular equivalente de Whitney, o con el método de fibras.

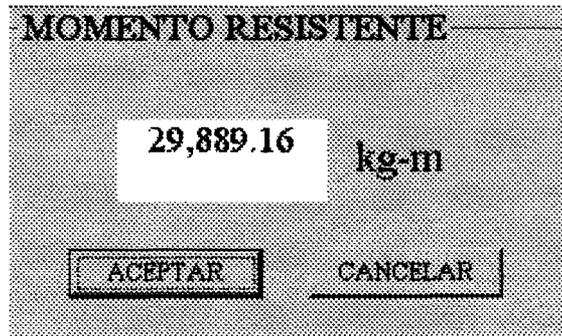
CÁLCULO DE LA FUERZA EN COMPRESIÓN

WHITNEY FIBRAS

ACEPTAR

Figura 27. Fuerza de compresión del concreto

A continuación el programa muestra como resultado el momento resistente de la viga, de acuerdo con los datos proporcionados con anterioridad.



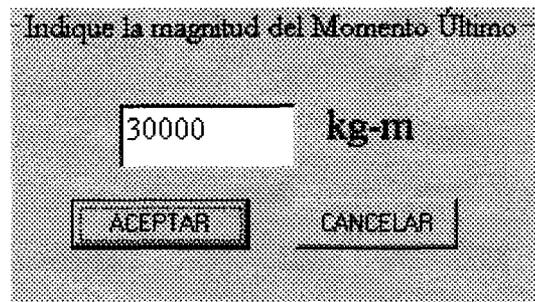
MOMENTO RESISTENTE

29,889.16 kg-m

ACEPTAR CANCELAR

Figura 28. Momento resistente

Cuando el usuario desea resolver un problema de Revisión-Diseño, se le pide el momento último a que estará sometido la sección transversal escogida.



Indique la magnitud del Momento Último

30000 kg-m

ACEPTAR CANCELAR

Figura 29. Momento último

Como resultado el programa muestra el diseño del refuerzo a tensión considerando tres tamaños de varilla. Además se calcula el refuerzo en compresión que sea necesario para cumplir con el criterio de ductilidad (ver figura 30).

La tercera opción en el menú de *Momento resistente* es la determinación de la gráfica de Momento Vs. Curvatura, la cual requiere como datos los mismos que en un problema de Revisión (ver figura 31).

El menú de *Comportamiento* permite hacer un estudio de sensibilidad en la variación del momento resistente cuando se varían los siguientes parámetros:

- Peralte
- Ancho
- f'_c
- Área de acero en compresión
- Cantidad de acero de refuerzo

El programa toma como datos de entrada aquellos utilizados en el último problema de revisión o en la última determinación de la gráfica Momento Vs. Curvatura. Los resultados se presentan en forma gráfica, tal como se muestra en las siguientes figuras.

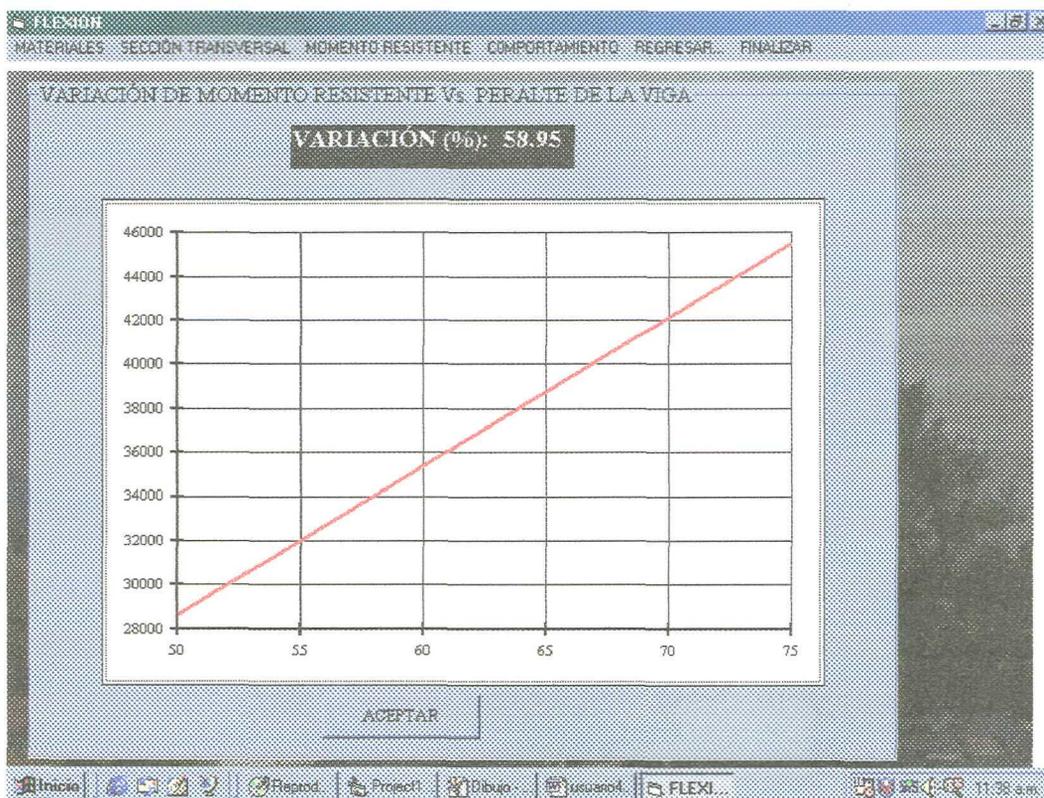


Figura 32. Menú de comportamiento

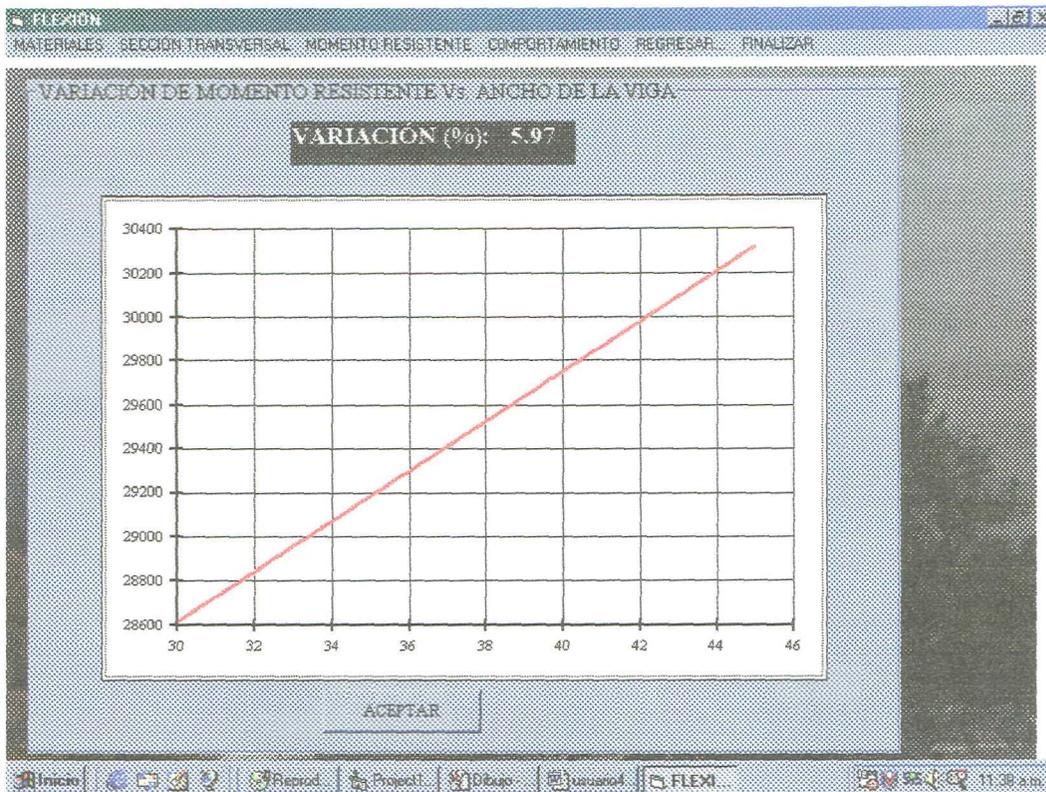


Figura 33. Menú de comportamiento

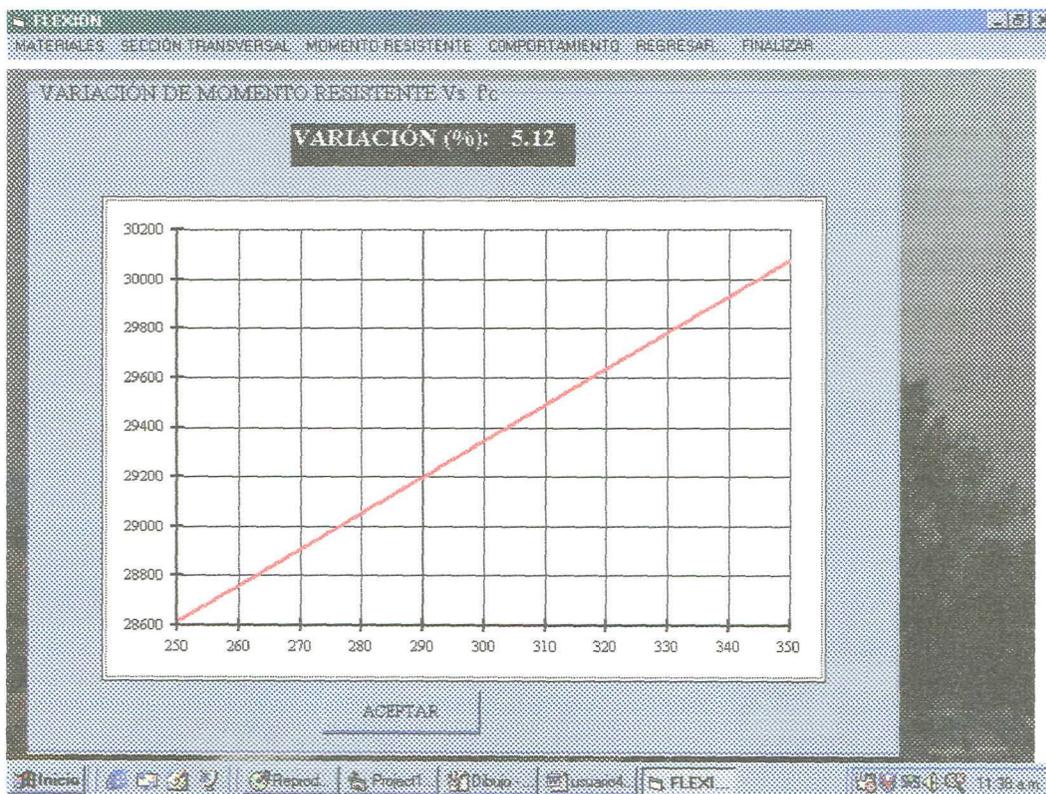


Figura 34. Menú de comportamiento

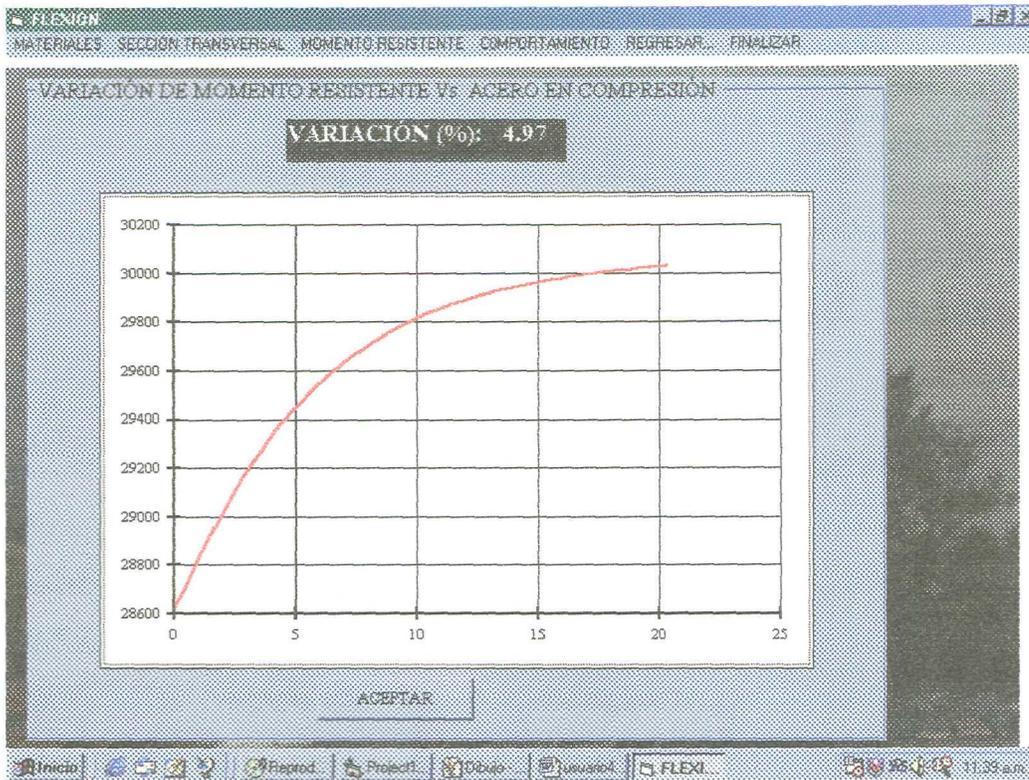


Figura 35. Menú de comportamiento

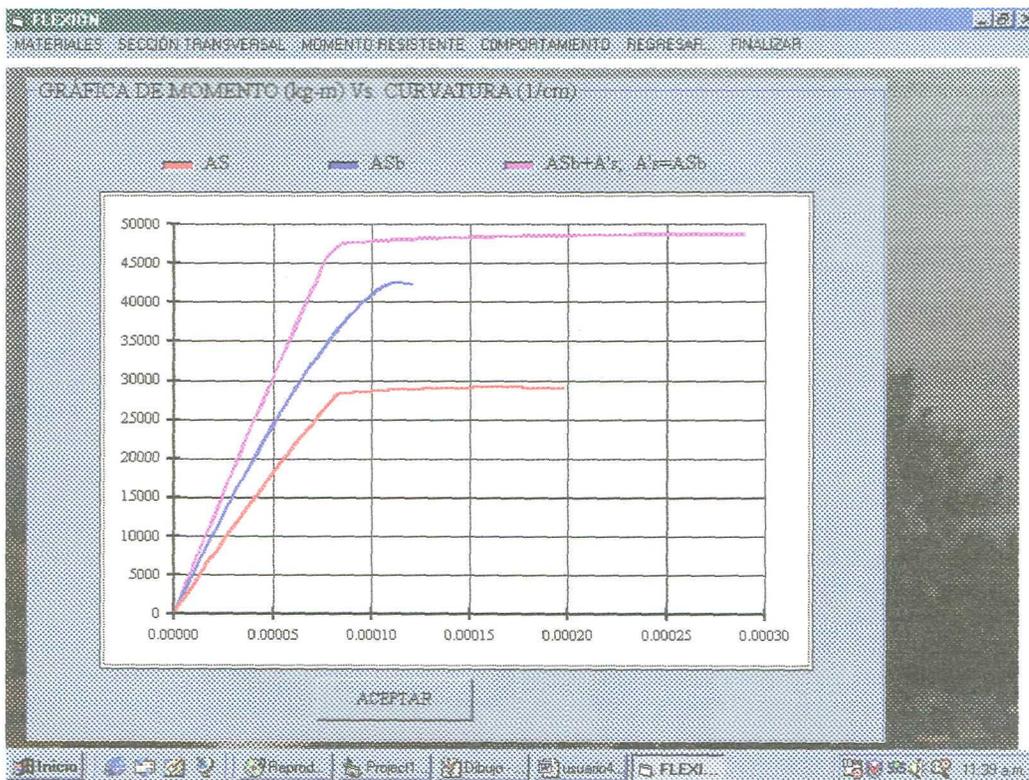


Figura 36. Menú de comportamiento

6.4 MENÚ DE CORTANTE

El menú de cortante cuenta con los siguientes submenús:

- Materiales
- Sección transversal
- Estribo
- Separación
- Diagrama



Figura 37. Menú de cortante

En *Materiales* el usuario debe proporcionar la resistencia del concreto a la compresión $f'c$ y el esfuerzo de fluencia del acero f_y .

En *Sección transversal* se indican las dimensiones de la viga: ancho del alma y peralte.

En *Estribo* el usuario deberá escoger el tamaño del estribo a utilizar, teniendo cuatro opciones:

- Estribo #3, 2 brazos
- Estribo #3, 4 brazos
- Estribo #4, 2 brazos
- Estribo #4, 4 brazos

En *Separación* se debe escoger el tipo de diseño de estribos que se desea realizar:

- Usando 3 separaciones
- Usando 2 separaciones
- Usando 1 separación

Cuando los datos están completos, el programa presenta en pantalla la viga con las cargas, pidiendo al usuario que escoja el claro de la viga para el cual quiere realizarse el diseño.

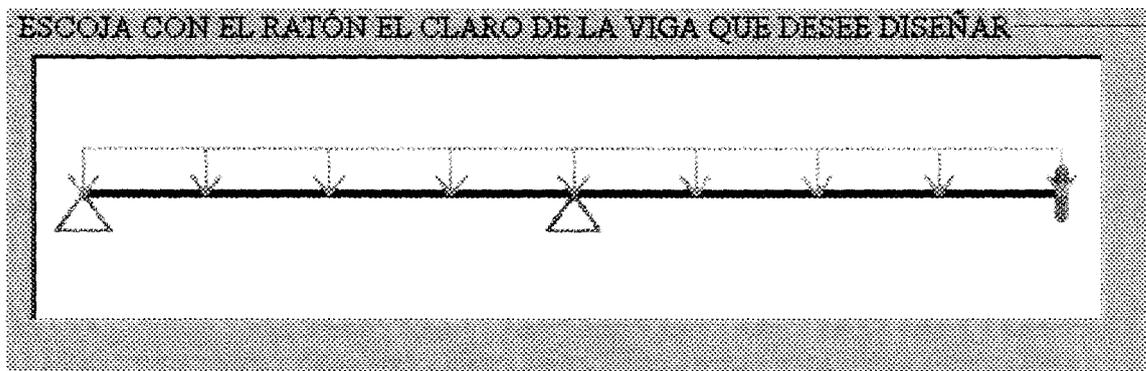


Figura 38. Geometría de la viga

Al seleccionar uno de los claros, el programa presenta en pantalla el croquis con la solución para el diseño de estribos, tal como se muestra en la siguiente figura:

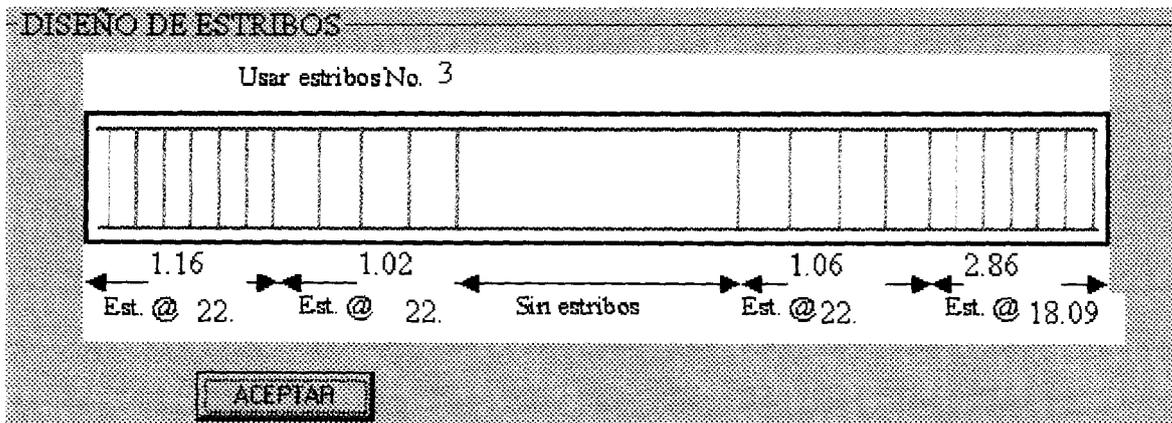


Figura 39. Croquis de diseño

En el submenú de diagrama se presenta el diagrama de cortante de la viga incluyendo la resistencia del concreto a cortante ϕV_c .

6.5 MENÚ DE COLUMNAS

El menú de columnas presenta los siguientes submenús:

- Materiales
- Sección transversal
- Refuerzo lateral
- Resistencia

En *Materiales* el usuario debe proporcionar la resistencia del concreto a la compresión $f'c$ y el esfuerzo de fluencia del acero f_y .

En *Sección transversal* se indican las dimensiones de la columna, siendo las opciones columnas rectangulares y columnas circulares.

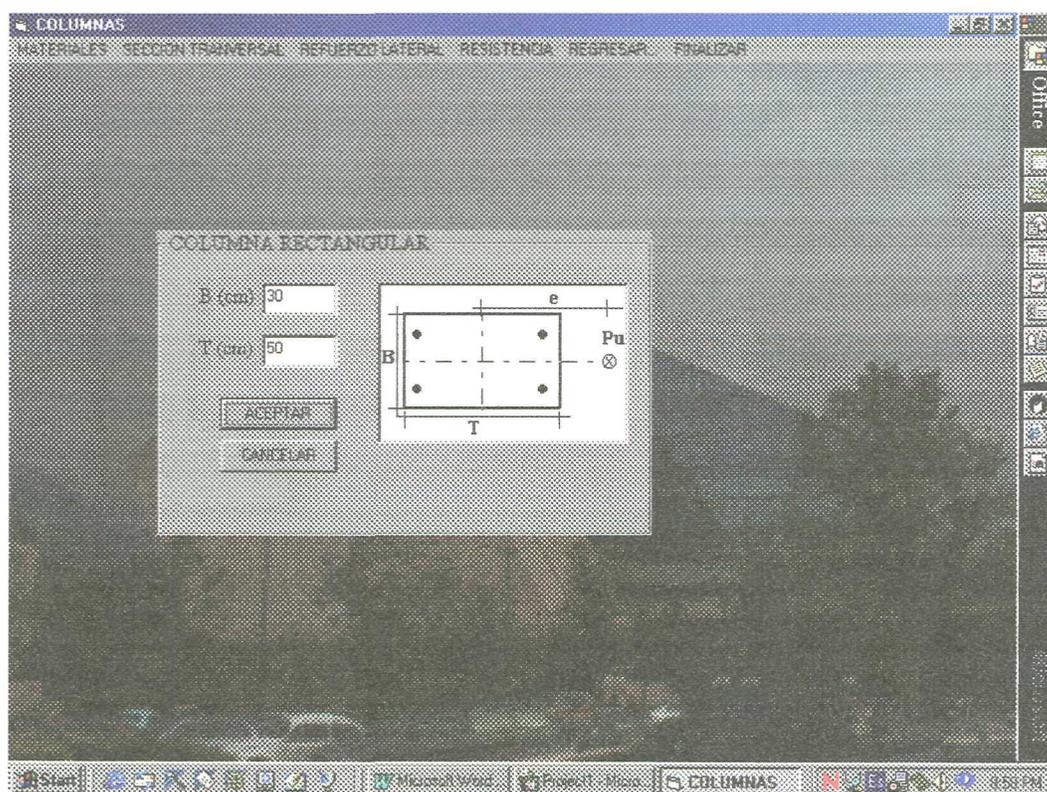


Figura 40. Columnas rectangulares

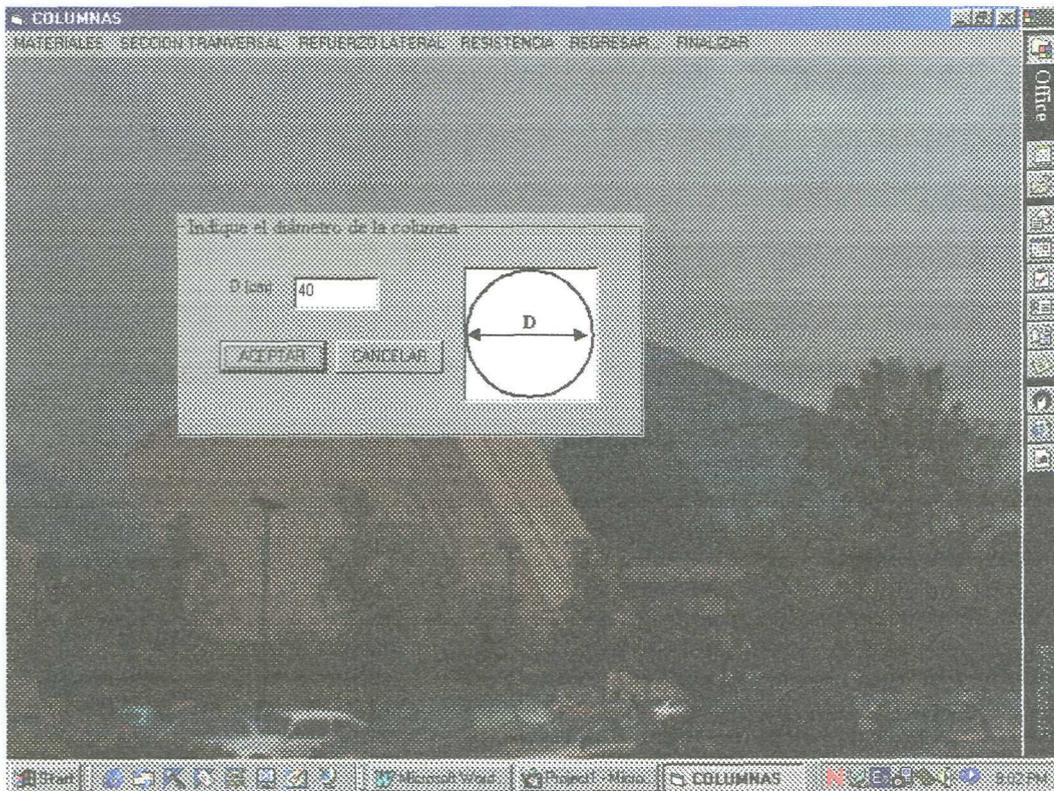


Figura 41. Columnas circulares

En Refuerzo lateral, el usuario debe indicar si se considera el uso de estribos o de espirales para el refuerzo lateral.

En Resistencia tenemos como opciones resolver problemas de Revisión, Revisión-Diseño o determinar el Diagrama de Interacción de la columna.

Si se va a hacer la Revisión de la columna, se debe indicar el armado que tiene y la ubicación del mismo. Así mismo se indica la combinación de carga (M_u , P_u) para la que se desea revisar la columna. El programa muestra en pantalla el diagrama de interacción de la columna y el punto (M_u , P_u), indicando si la columna resiste o no resiste (ver figura 42).

Para un problema de diseño únicamente se indica la combinación de carga (M_u , P_u), y el programa muestra en pantalla el armado requerido por la columna para resistir la combinación dada.

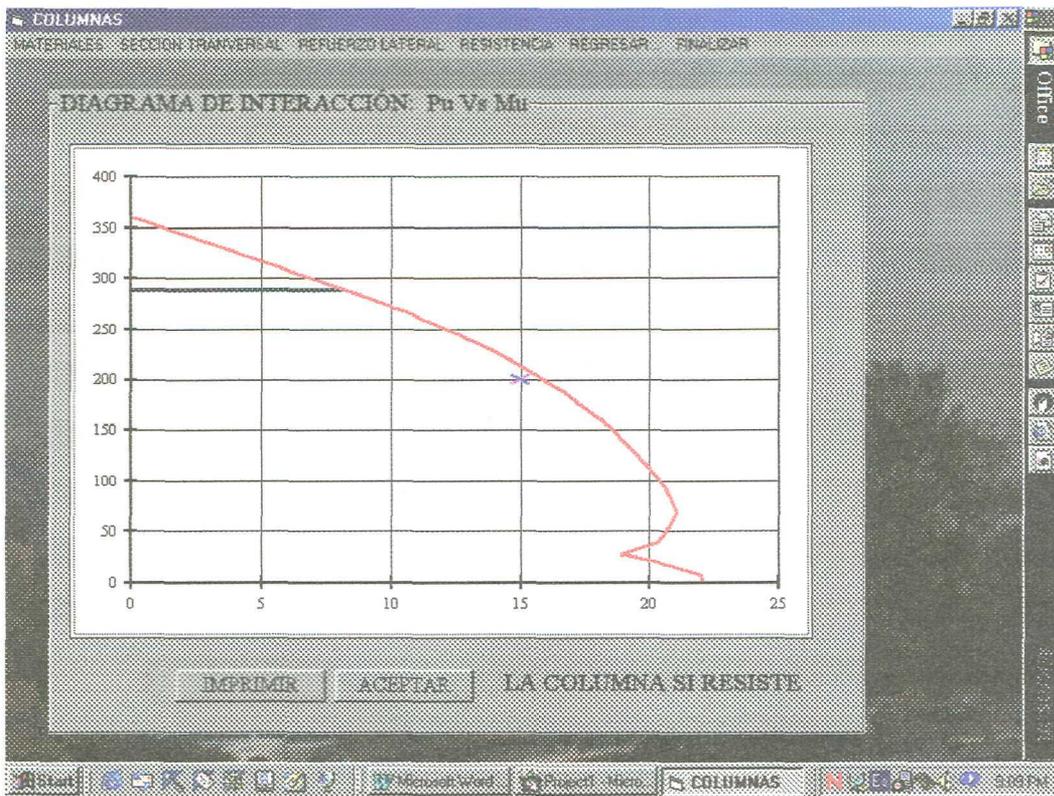


Figura 42. Problema de Revisión

Recomendaciones

Aunque este proyecto ha cumplido con el objetivo trazado en un principio, existen áreas de oportunidad para que en un futuro algún otro tesista continúe con este proyecto, para poder ofrecer un mejor producto terminado. Entre las principales recomendaciones podemos mencionar las siguientes:

- Hacer más flexible el programa, de tal manera que el usuario pueda ver los cálculos intermedios que se realizan para llegar al resultado que se muestra en pantalla, principalmente en los menús de flexión, cortante y columnas.
 - Agregar rutinas de programación que permitan al usuario obtener gráficas que presenten mayor información en respuesta a una acción como hacer click con el ratón o simplemente posicionarse con el cursor en la gráfica.
 - Incluir las bases teóricas dentro del mismo programa, incluyendo la metodología que utilizan algunas rutinas del programa y que están incluidas dentro de este proyecto de tesis.
 - Agregar otros tipos de cargas en el menú de análisis de vigas, e inclusive extender su aplicación para marcos y armaduras, incluyendo el módulo interactivo.
 - Ampliar el alcance del programa para que pueda ser utilizado en cursos más avanzados en el área de estructuras, incluyendo temas como flexión biaxial en columnas, más tipos de secciones en vigas, losas, etc.
 - Aunque el programa fue revisado por el comité de tesis, y fue probado por alumnos en una primera fase, se recomienda profundizar en la validación de los resultados obtenidos con el programa. Además se recomendaría incluir una leyenda en los resultados que se pueden imprimir con el programa indicando que su uso es exclusivamente educativo.
 - Considerar dentro del menú de análisis de vigas el cálculo de deflexiones, considerando inercia gruesa, inercia efectiva, etc.
 - Incluir en los diagramas de corte y momento obtenidos en el menú de análisis información adicional como la distancia a los puntos de corte cero, o la ubicación de los puntos de inflexión.
-
-

BIBLIOGRAFÍA

Amundsen, Mike; Bernavich, Rob; Charlesworth, John; Conley, John; Kimmel, Paul; Ladymon, Rick, “Visual Basic 5 Fundamentals”, Sams Publishing, 1997.

García-Badell, José Javier, “Cálculo por computadora de estructuras de hormigón armado”, segunda edición, McGraw-Hill, 1996.

Gere, James; Timoshenko, Stephen, “Mecánica de Materiales”, segunda edición, Grupo Editorial Iberoamericana, 1991.

González Cuevas, Oscar; Robles Fernández Francisco, “Aspectos fundamentales del concreto reforzado”, tercera edición, Limusa Noriega Editores, 1995.

Kennedy, John; Madugula, Murty, “Elastic Analysis of Structures, Classical and Matrix Methods”, Harper & Row, 1990.

Leet, Kenneth, “Fundamentals of Structural Analysis”, MacMillan Publishing Company, 1988.

Nilson, Arthur H.; Winter, George, “Design of concrete structures”, Eleventh Edition, McGraw-Hill, 1991.

Reglamento para las construcciones de concreto estructural y comentarios. ACI 318-95 y ACI 318 R-95.

Ross, David; Yen, Richard, “Las computadoras en el diseño de columnas de concreto reforzado”, Concrete International: Design & Construction, vol 6, núm.3, marzo de 1984.

Tartaglione, Louis; “Structural Analysis”, McGraw Hill, 1991.

DECLARACIÓN DE VARIABLES

Global Const fmt1 = "###,###.##", fmt2 = "#.###", fmt3 = "##.##"

'Formatos para la presentación de resultados numéricos

I. MENÚ DE ANÁLISIS DE VIGAS

I.1 GEOMETRIA Y CARGAS

Global unit, boundry, geometry, loads, results, NC, nd, seg, contador As Integer

'unit, boundry, geometry, loads, results son banderas que activan los menús

'de unidades, apoyos, geometria, cargas y resultados. Toman valores 0 y 1

'NC=número de claros

'nd=número de grados de libertad no restringidos

'seg=número de segmentos en los que se divide cada claro en el cálculo de los valores

'que toman los diagramas de corte y momento

'contador=indica el número del claro al que se le asigna el valor de la longitud, o en el

'el menú de flexión para indicar el número de capa de acero al que se le asigna área de acero

Global i, j, k, m, o, II As Integer

'contadores utilizados en los ciclos del programa

Global apder, apizq As Double

'Valor asignado a las condiciones de apoyo en los extremos de la viga

'articulado=0, empotrado=1, libre=2

Global empizq, empder, empdos As Double

'Al combinar los valores apder y apizq obtenemos las diferentes condiciones

'de apoyo de la viga: empotrado-articulado, empotrado-libre, art-articulado, etc

'empizq, empder, empdos, utilizando las siguientes fórmulas

'empizq=2*apizq+apder

'empder=2*apder+apizq

'empdos= apizq*apder

Global L(), W(), AW(), BW(), P(), a(), MC(), AM() As Double

'L=longitud de cada claro de la viga

'W=magnitud de carga distribuida

'AW=distancia desde extremo izquierdo del claro donde comienza carga concentrada

'BW=distancia desde extremo derecho del claro donde termina la carga

'P=magnitud de carga concentrada

'a=distancia desde extremo del claro para carga concentrada

'MC=magnitud de momento concentrado

'AM=distancia desde extremo del claro al momento concentrado

Global alfa, beta, teta As Double

'alfa y beta=relacion de la posicion de la carga a la longitud del claro

'alfa y teta=en el menu de columnas son angulos utilizados en el calculo del diagrama de interaccion

Global Wbandera, Pbandera, Mbandera As Integer

'Indican en qué menú se encuentra el usuario para asignar las cargas

'Wbandera=menú de carga distribuida

'Pbandera=menú de carga concentrada

'Mbandera=menú de momento concentrado

Global Ptemp, atemp, Wtemp, AWtemp, BWtemp, MCtemp, AMtemp As Double

'Valores temporales que contienen magnitud y distancias para cada tipo de carga

'Ptemp y atemp = para carga concentrada

'Wtemp, AWtemp, BWtemp = para carga distribuida

'MCtemp, AMtemp = para momento concentrado
Global TODOS, YAESTUVO, nloads, BORRACARGAS, menuvigas As Integer
'TODOS=se utiliza para asignar una carga a todos los claros
'YAESTUVO=para indicar que se han asignado las cargas a los claros correspondientes
'nloads=número total de cargas asignadas por el usuario por claro
'menuvigas=para congelar barra de menus en modulo de analisis
'BORRACARGAS=para borrar cargas en la viga
Global contaP(), contaM(), contaW() As Double
'Contador que indica el número de cargas concentradas, momentos concentrados y cargas
'distribuidas por claro

I.2 ANALISIS MATRICIAL

Global x(), Ma(), Va(), Ra() As Double
'x=Distancia desde el extremo izquierdo de la viga al punto donde se obtiene el valor del
'corte o el momento
'Ma=valor del momento en un punto del claro
'Va=valor del cortante en un punto del claro
'Ra=valor de la reacción en el extremo izquierdo del claro
Global kpp(), kqp(), Kqq() As Double
'kpp, kqp, kqq=coeficientes rotacionales
Global KG(), f(), U(), UT(), Z(), t() As Double
'KG=valores de la matriz de rigidez global
'f=valores del vector de fuerzas
'U=valores de la matriz de factorización U
'UT=valores de la matriz U transpuesta
'Z=primeras raíces del sistema de ecuaciones por cholesky
't=valores de los giros en los extremos de las barras
Global Mei(), Med(), MI(), MD(), MPOS(), VI(), VD() As Double
'Mei=momento de empotramiento en el extremo izquierdo de la barra
'Med=momento de empotramiento en el extremo derecho de la barra
'MI=momento final en extremo izquierdo de la barra
'MD=momento final en extremo derecho de la barra
'MPOS=momento positivo máximo en el claro
'VI=valor del cortante en el extremo izquierdo de la barra
'VD=valor del cortante en el extremo derecho de la barra
Global Mx(), Vx(), dist(), dx(), Mmax As Double
'Mx valor del momento referenciado al extremo izquierdo de la viga
'Vx valor del corte referenciado al extremo izquierdo de la viga
'dist=distancia desde el extremo izquierdo de la viga
'dx=ancho de cada segmento en los que se divide el claro
'Mmax=valor temporal para encontrar el momento positivo máximo

I.3 MÓDULO INTERACTIVO

Global COORIZQ(), COORDER(), xo, yo, xf As Double
'COORIZQ, COORDER=coordenadas de los apoyos intermedios de la viga
'xo, xf = coordenadas del inicio y final de la viga
'yo=coordenada del eje horizontal de la viga
Global CHECAIZQ(), CHECADER(), CORTECERO() As Double
'CHECAIZQ=cuando se verifica el valor de cortante en el extremo izquierdo del claro

'CHECAIZQ=cuando se verifica el valor de cortante en el extremo derecho del claro
'CORTECERO=posición de los puntos de corte cero en la viga
Global x1real, x2real, x3real As Double
'coordenadas seleccionadas por el usuario en el grid del módulo interactivo, normalizadas
'a distancias reales de la viga
Global JJ, KK, EXTREMO As Integer
'Se utilizan para identificar un punto específico del diagrama de corte (Va) o momento (Ma)

II. FLEXIÓN Y COLUMNAS

Global b, h, bwt, hf, fc, fy, btemp, htemp, fctemp, Ag As Double
'b, h= ancho y peralte
'bwt=ancho del alma
'hf=espesor del patín
'fc=resistencia a la compresión del concreto
'fy=esfuerzo de fluencia del acero
'btemp, htemp=valores temporales de ancho y peralte respectivamente
'fctemp=valor temporal de fc
'Ag=area gruesa de la sección transversal
Global ncapas, nfibras, npuntos, WHITNEYB, trapecio, resiste As Integer
'ncapas=número de capas de acero
'nfibras=número de fibras de concreto
'npuntos=número de puntos en grafica momento curvatura y en diagrama de interacción
'WHITNEYB=bandera que indica si se utiliza whitney o fibras en la fuerza de compresión
'trapecio=identifica el tipo de sección transversal en la viga: rectangular, T o triangular
'resiste=indica si una columna resiste una combinación de Pu y Mu
Global Asi(), di(), Esi(), fsi(), Psi(), dtemp(), Astemp(), aps() As Double
'Asi=area de acero en una capa
'di=posición de la capa de acero
'Esi=deformación unitaria en una capa de acero
'fsi=esfuerzo en una capa de acero
'Psi=fuerza en una capa de acero
'dtemp=posición temporal de una capa de acero
'Astemp=area de acero temporal en una capa de acero
'aps=area de acero en compresión
Global Aci(), dci(), Eci(), fci(), Pci() As Double
'Aci=area de concreto de una fibra
'dci=posición de una fibra de concreto
'Eci=deformación unitaria de una fibra de concreto
'fci=esfuerzo de una fibra de concreto
'Pci=fuerza de una fibra de concreto
Global cfibras, afibras, Beta1, Cc As Double
'cfibras=profundidad del eje neutro
'afibras=profundidad del bloque de Whitney
'Beta1=afibras/cfibras
'Cc=fuerza total de compresión en el concreto
Global TENSION, COMPRESION, EQUILIBRIO, Yc, MN, Mu, Pu As Double
'TENSION=fuerza total de tensión
'COMPRESION=fuerza total de compresión
'EQUILIBRIO=C+T
'Yc=centroide del area en compresión del concreto

'MN=momento nominal
'Mu=momento ultimo
'Pu=carga axial ultima
Global LINF, LSUP, Ecs, curvatura(), MOMENTO(), peralte(), ancho(), EXTREMOS, fprima() As Double
'LINF=limite inferior
'LSUP=limite superior
'Ecs=deformación en la fibra extrema en compresion
'curvatura y momento=valores para la grafica momento Vs curvatura
'peralte, ancho = valores que se toman en el estudio de sensibilidad
'EXTREMOS=porcentaje de variacion en el momento resistente para el estudio de sensibilidad
'fprima=valores que toma el f'c en el estudio de sensibilidad
Global ACUAD, BCUAD, CCUAD, Asreq, NVAR3, NVAR4, NVAR6, NVAR8, NVREQ As Double
'ACUAD, BCUAD, CCUAD=valores A, B y C en la formula general para resolver una ecuacion cuadratica
'Asreq=area de acero requerida por resistencia
'NVAR3, NVAR4, NVAR6, NVAR8=numero de varillas a tension
'NVREQ=numero de varillas requeridas para columnas circulares
Global As3, As4, As6, As8, breq4, breq6, breq8, rob, romax, rof, romin, fpsb, ro4, ro6, ro8, NBARRA4, NBARRA6, NBARRA8 As Double
'As3, As4, As6, As8=area de una varilla
'breq=ancho requerido
'rob= ro (cuantía) balanceada
'romax= ro maxima
'rof=ro para el patin de compresion
'romin=ro minima
'fpsb=esfuerzo en el acero de compresion para falla balanceada
'ro= cuantia de la viga
'NBARRA=numero de varillas en compresion requeridas por ductilidad
Global Asf, Asw, Mn1, Mn2, rec, SOLUCN, SOLUC As Double
'Asf=en vigas T, area de acero que equilibra fuerza de compresion del patin
'Asw=en vigas T, area de acero que equilibra la fuerza de compresion del alma
'Mn1=momento nominal utilizando Asw
'Mn2=momento nominal utilizando Asf
'rec=recubrimiento de concreto
'correccion
Global lecho4, lecho6, lecho8 As Integer
'lecho4, lecho6, lecho8=indican si el refuerzo se acomoda en 1 o 2 lechos de acuerdo al tamaño de la varilla
Global axial(), correccion(), pendiente, cruce1, cruceX, cruceY As Double
'axial=valores de la carga axial en el diagrama de interaccion
'correccion=en diagrama de interaccion $0.8f_i P_o$
'pendiente=de la recta que pasa por el origen del diagrama de interaccion y el punto Mu, Pu
'cruce1, cruceX, cruceY= se refieren a la interseccion del diagrama de interaccion con la recta que pasa por el origen y (Mu, Pu)
Global ficol, Pmin, acerof, acerom, Xplastico, asvar As Double
'ficol=factor de reduccion en columnas
'Pmin=valor de carga axial donde el factor de reduccion empieza a cambiar hacia 0.9
'acerof=sumatoria de Asfy en el calculo del centroide plastico

'acerom=sumatoria de Asfy por brazo de palanca
'Xplastico=coordenada del centroide plástico
'asvar=area de acero de la varilla a utilizar
Global CIRC BANDERA, REVIBANDERA, NVARC, MCURB, DATOSB As Integer
'CIRC BANDERA=bandera que indica si la columna tiene sección rectangular o circular
'REVIBANDERA=bandera que indica si se va a realizar un problema de revisión o de diseño
'NVARC=número de varillas de refuerzo en la columna
'MCURB=bandera indica que se va a determinar la grafica de momento Vs. curvatura de la viga
'DATOSB=bandera que indica si los datos del refuerzo estan completos
Global sinalfa, cosalfa, pi, rocol, aux1, aux2 As Double
'sinalfa=seno del ángulo alfa
'cosalfa=coseno de ángulo alfa
'pi=3.14159...
'rocol=cuantía de la columna
'aux1, aux2=puntos auxiliares para encontrar la intersección de la recta que pasa por el origen
y el punto (Mu, Pu) con el diagrama de interacción

III. CORTANTE

Global EST, fiVc, Vs, Vsmax, Vcrit, Av, fi, Sizq, Sizq2, Sder, Sder2, Smax, dizq1, dizq2, dder1, dder2 As Double
'EST=indica el tamaño de la varilla para el estribo
'fiVc=resistencia de la sección de concreto a corte
'Vs=resistencia al corte que aporta el acero
'Vsmax=máxima resistencia que puede tener el acero a corte
'Vcrit=cortante critico de la viga calculado a una distancia d del apoyo
'Av=area del estribo
'fi=factor de reducción para cortante
'Sizq=separacion requerida de estribos para el extremo izquierdo del claro
'Sder=separacion requerida de estribos para el extremo derecho del claro
'Sizq2=separación maxima en extremo izquierdo
'Sder2=separacion maxima en extremo derecho
'Smax=separación máxima
'dizq1=distancia para usar Smax extremo izquierdo
'dder1=distancia para usar Smax extremo derecho
'dizq2=distancia para no usar estribos extremo izquierdo
'dder2=distancia para no usar estribos extremo derecho
Global Vbandera As Integer
'Vbandera=bandera que indica que ya se ha realizado el análisis de la viga, por lo que se podrán
diseñar los estribos.

RUTINA PARA HACER EL ANÁLISIS MATRICIAL DE LA VIGA

```

Private Sub ANALISIS_Click()
If NC = 0 Or geometry = 0 Then
MsgBox ("Faltan la geometría de la viga"), ,
("¡ATENCIÓN!")
Exit Sub
Else
If loads = 0 Then
MsgBox ("Introduzca las cargas sobre la
viga"), , ("¡ATENCIÓN!")
Exit Sub
Else
If boundry = 0 Then
MsgBox ("Falta determinar las condiciones
de apoyo"), , ("¡ATENCIÓN!")
Exit Sub
Else
If (NC = 1 And (apizq = 0 And apder = 2 Or
apder = 0 And apizq = 2)) Or ((NC = 1 Or
NC = 2) And apder = 2 And apizq = 2) Then
MsgBox ("La viga es inestable. Corrija las
condiciones de apoyo."), , ("¡ATENCIÓN!")
Exit Sub
End If
End If
End If
End If
'seg define el número de segmentos (dx)
seg = 400
Frame6.Visible = True
ProgressBar1.Visible = True
ProgressBar1.Min = 0
ProgressBar1.Max = seg
ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Min
nd = NC + 1
empizq = apizq * 2 + apder
empder = apder * 2 + apizq
empdos = apizq * apder
ReDim x(NC + 1, seg + 1), Ma(NC + 1, seg +
1), Va(NC + 1, seg + 1)
ReDim kpp(nd + 1), kqp(nd + 1), Kqq(nd +
1)
ReDim dx(NC + 1), VI(NC + 1), VD(NC +
1)
ReDim Mei(NC + 1), Med(NC + 1), MI(NC
+ 1), MD(NC + 1), MPOS(NC + 1)
ReDim KG(nd + 1, nd + 1), f(nd + 1), U(nd +
1, nd + 1), UT(nd + 1, nd + 1), Z(nd + 1),
t(nd + 1)
'Signos: positivo en contra de manecillas del
reloj
For i = 1 To NC
'Momentos de empotramiento
For m = 1 To nloads
'Si la viga tiene carga distribuida a todo lo
largo
If AW(i, m) = 0 And BW(i, m) = 0 Then
Mei(i) = Mei(i) + W(i, m) * (L(i)) ^ 2 / 12 +
P(i, m) * a(i, m) * (L(i) - a(i, m)) ^ 2 / (L(i)) ^
2 + MC(i, m) * (1 - 4 * AM(i, m) / L(i) + 3 *
(AM(i, m) / L(i)) ^ 2)
Med(i) = Med(i) - W(i, m) * (L(i)) ^ 2 / 12 -
P(i, m) * (a(i, m)) ^ 2 * (L(i) - a(i, m)) / (L(i))
^ 2 - MC(i, m) * AM(i, m) / L(i) * (2 - 3 *
AM(i, m) / L(i))
Else
'Carga distribuida no a todo lo largo
alfa = (L(i) - BW(i, m)) / L(i)
beta = AW(i, m) / L(i)
Mei(i) = Mei(i) + (W(i, m) * (L(i)) ^ 2 / 12) *
(alfa ^ 2 * (6 - 8 * alfa + 3 * alfa ^ 2) - beta ^
2 * (6 - 8 * beta + 3 * beta ^ 2)) + P(i, m) *
a(i, m) * (L(i) - a(i, m)) ^ 2 / (L(i)) ^ 2 +
MC(i, m) * (1 - 4 * AM(i, m) / L(i) + 3 *
(AM(i, m) / L(i)) ^ 2)
Med(i) = Med(i) - (W(i, m) * (L(i)) ^ 2 / 12)
* (alfa ^ 3 * (4 - 3 * alfa) - beta ^ 3 * (4 - 3 *
beta)) - P(i, m) * (a(i, m)) ^ 2 * (L(i) - a(i,
m)) / (L(i)) ^ 2 - MC(i, m) * AM(i, m) / L(i) *
(2 - 3 * AM(i, m) / L(i))
End If
Next m
'Coeficientes rotacionales
dx(i) = L(i) / seg
For j = 1 To seg
x(i, j) = x(i, j) + dx(i) * j
Next j
kpp(i) = 4 / L(i)
kqp(i) = 2 / L(i)
Kqq(i) = 4 / L(i)
Next i
'ENSAMBLAR MATRIZ DE RIGIDEZ
GLOBAL Y VECTOR DE FUERZAS
EXCEPTO,

'Si tiene un sólo claro con ambos extremos
empotrados

```

```

If (NC = 1 And apizq = 1 And apder = 1)
Then
'Calcular la reacción
ReDim Ra(NC + 1)
Ra(1) = (Mei(1) + Med(1)) / L(1)
For m = 1 To nloads
If AW(1, m) = 0 And BW(1, m) = 0 Then
Ra(1) = Ra(1) + (W(1, m) * L(1) / 2 + P(1,
m) * (L(1) - a(1, m)) / L(1)) - MC(1, m) /
L(1)
Else
Ra(1) = Ra(1) + W(1, m) / L(1) * (L(1) -
AW(1, m) - BW(1, m)) * (L(1) / 2 - AW(1,
m) / 2 + BW(1, m) / 2) + P(1, m) * (L(1) -
a(1, m)) / L(1) - MC(1, m) / L(1)
End If
Next m
For j = 1 To seg
For m = 1 To nloads
Ma(1, j) = Ma(1, j) - Mei(1)
Va(1, j) = Va(1, j) + Ra(1)
Next m
Next j
For j = 1 To seg
For m = 1 To nloads
If x(NC, j) >= a(NC, m) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - P(NC, m) * (x(NC,
j) - a(NC, m))
Va(NC, j) = Va(NC, j) - P(NC, m)
End If
If x(NC, j) >= AM(NC, m) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) + MC(NC, m)
End If
If x(NC, j) >= AW(NC, m) And x(NC, j) <=
(L(NC) - BW(NC, m)) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - W(NC, m) * (x(NC,
j) - AW(NC, m)) ^ 2 / 2
Va(NC, j) = Va(NC, j) - W(NC, m) * (x(NC,
j) - AW(NC, m))
End If
If x(NC, j) > (L(NC) - BW(NC, m)) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - W(NC, m) *
(L(NC) - AW(NC, m) - BW(NC, m)) *
(x(NC, j) - AW(NC, m) - (L(NC) - AW(NC,
m) - BW(NC, m)) / 2)
Va(NC, j) = Va(NC, j) - W(NC, m) * (L(NC)
- AW(NC, m) - BW(NC, m))
End If
Next m
ProgressBar1.Value = j
Next j

For j = 1 To seg
Ma(1, j) = Ma(1, j) + Ra(1) * x(1, j)
Next j
MI(1) = Mei(1)
VI(1) = Ra(1)
MD(NC) = Med(1)
VD(NC) = Va(1, seg)
Frame5.Visible = False
Frame1(4).Visible = True
ACEPTAR(3).SetFocus
results = 1
ProgressBar1.Visible = False
Frame6.Visible = False
RESULTADOS.Enabled = True
INTERAC.Enabled = True
Exit Sub
End If

'Si es libre-empotrado de un solo claro
If NC = 1 And apizq = 2 And apder = 1 Then
For j = 1 To seg
For m = 1 To nloads
If x(1, j) >= a(1, m) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) - P(1, m) * (x(1, j) - a(1,
m))
Va(1, j) = Va(1, j) - P(1, m)
End If
If x(1, j) >= AM(1, m) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) + MC(1, m)
End If
If x(1, j) >= AW(1, m) And x(1, j) <= (L(1) -
BW(1, m)) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) - W(1, m) * (x(1, j) -
AW(1, m)) ^ 2 / 2
Va(1, j) = Va(1, j) - W(1, m) * (x(1, j) -
AW(1, m))
End If
If x(1, j) > (L(1) - BW(1, m)) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) - W(1, m) * (L(1) -
AW(1, m) - BW(1, m)) * (x(1, j) - AW(1, m)
- (L(1) - AW(1, m) - BW(1, m)) / 2)
Va(1, j) = Va(1, j) - W(1, m) * (L(1) - AW(1,
m) - BW(1, m))
End If
Next m
ProgressBar1.Value = j
Next j
For m = 1 To nloads
If AM(NC, m) = 0 Then
MI(NC) = MI(NC) - MC(NC, m)
End If

```

```

If a(NC, m) = 0 Then
VI(NC) = VI(NC) - P(NC, m)
End If
Next m
MD(1) = Ma(1, seg)
VD(1) = Va(1, seg)
Frame5.Visible = False
Frame1(4).Visible = True
ACEPTAR(3).SetFocus
results = 1
ProgressBar1.Visible = False
Frame6.Visible = False
RESULTADOS.Enabled = True
INTERAC.Enabled = True
Exit Sub
Else
'Si es empotrado-libre de un claro
If (NC = 1 And apizq = 1 And apder = 2)
Then
For j = 1 To seg
For m = 1 To nloads
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) + (W(NC, m) *
(L(NC) - AW(NC, m) - BW(NC, m)) +
P(NC, m) * x(NC, j) - P(NC, m) * a(NC, m)
- W(NC, m) * (L(NC) - AW(NC, m) -
BW(NC, m)) * ((L(NC) - AW(NC, m) -
BW(NC, m)) / 2 + AW(NC, m)) - MC(NC,
m)
Va(NC, j) = Va(NC, j) + W(NC, m) * (L(NC)
- AW(NC, m) - BW(NC, m)) + P(NC, m)
Next m
Next j
For j = 1 To seg
For m = 1 To nloads
If x(NC, j) >= a(NC, m) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - P(NC, m) * (x(NC,
j) - a(NC, m))
Va(NC, j) = Va(NC, j) - P(NC, m)
End If
If x(NC, j) >= AM(NC, m) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) + MC(NC, m)
End If
If x(NC, j) >= AW(NC, m) And x(NC, j) <=
(L(NC) - BW(NC, m)) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - W(NC, m) * (x(NC,
j) - AW(NC, m)) ^ 2 / 2
Va(NC, j) = Va(NC, j) - W(NC, m) * (x(NC,
j) - AW(NC, m))
End If
If x(NC, j) > (L(NC) - BW(NC, m)) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - W(NC, m) *
(L(NC) - AW(NC, m) - BW(NC, m)) *
(x(NC, j) - AW(NC, m) - (L(NC) - AW(NC,
m) - BW(NC, m)) / 2 + AW(NC, m)) + MC(NC,
m)
VI(NC) = P(NC, m) + W(NC, m) * (L(NC) -
AW(NC, m) - BW(NC, m))
Next m
MD(NC) = Ma(1, seg)
VD(NC) = Va(1, seg)
Frame5.Visible = False
Frame1(4).Visible = True
ACEPTAR(3).SetFocus
results = 1
ProgressBar1.Visible = False
Frame6.Visible = False
RESULTADOS.Enabled = True
INTERAC.Enabled = True
Exit Sub
End If
End If
'Si la viga tiene voladizo en el extremo
derecho:
If empizq = 2 And empder = 4 Or empizq = 4
And empder = 5 Then
nd = NC
For i = 1 To (NC - 1)
KG(i, i) = kpp(i)
KG(i, i + 1) = kqp(i)
Next i
For i = 2 To nd
KG(i, i) = KG(i, i) + Kqq(i - 1)
For k = 1 To nd
If i > k Then
KG(i, k) = KG(k, i)
End If
Next k
Next i
'Vector de fuerzas
For i = 1 To (nd - 1)

```

```

f(i) = Mei(i)
Next i
For i = 1 To (NC - 1)
f(i + 1) = f(i + 1) + Med(i)
Next i
'Agregar el efecto de los voladizos como un
momento concentrado
'Utilizar signo contrario a los de
empotramiento
For m = 1 To nloads
If AW(nd, m) = 0 And BW(nd, m) = 0 Then
f(nd) = f(nd) + W(NC, m) * (L(NC)) ^ 2 / 2
+ P(NC, m) * a(NC, m) + MC(NC, m)
Else
f(nd) = f(nd) + W(NC, m) * (L(NC) -
AW(NC, m) - BW(NC, m)) * (L(NC) / 2 +
AW(NC, m) / 2 - BW(NC, m) / 2) + P(NC,
m) * a(NC, m) + MC(NC, m)
End If
Next m
Else
'Si la viga tiene voladizo en el extremo
izquierdo:
If empizq = 4 And empder = 2 Or empizq = 5
And empder = 4 Then
nd = NC
For i = 1 To (NC - 1)
KG(i, i) = kpp(i + 1)
KG(i, i + 1) = kqp(i + 1)
Next i
For i = 2 To nd
KG(i, i) = KG(i, i) + Kqq(i)
For k = 1 To nd
If i > k Then
KG(i, k) = KG(k, i)
End If
Next k
Next i
'Vector de fuerzas
For i = 1 To nd
f(i) = Mei(i + 1)
Next i
For i = 1 To (NC - 1)
f(i + 1) = f(i + 1) + Med(i + 1)
Next i
For m = 1 To nloads
If AW(1, m) = 0 And BW(1, m) = 0 Then
f(1) = f(1) - W(1, m) * (L(1)) ^ 2 / 2 - P(1,
m) * (L(1) - a(1, m)) - MC(1, m)
Else
f(1) = f(1) - W(1, m) * (L(1) - AW(1, m) -
BW(1, m)) * (L(1) / 2 - AW(1, m) / 2 +
BW(1, m) / 2) - P(1, m) * (L(1) - a(1, m)) -
MC(1, m)
End If
Next m
For m = 1 To nloads
If AW(NC, m) = 0 And BW(NC, m) = 0
Then
f(nd) = f(nd) + W(NC, m) * (L(NC)) ^ 2 / 2
+ P(NC, m) * a(NC, m) + MC(NC, m)
Else
f(nd) = f(nd) + W(NC, m) * (L(NC) -
AW(NC, m) - BW(NC, m)) * (L(NC) / 2 +
AW(NC, m) / 2 - BW(NC, m) / 2) + P(NC,
m) * a(NC, m) + MC(NC, m)
End If

```

```

Next m
Else
'Para los demás casos:
nd = NC + 1
For i = 1 To NC
KG(i, i) = kpp(i)
KG(i, i + 1) = kqp(i)
Next i
For i = 2 To nd
KG(i, i) = KG(i, i) + Kqq(i - 1)
For k = 1 To nd
If i > k Then
KG(i, k) = KG(k, i)
End If
Next k
Next i
'Vector de fuerzas
For i = 1 To nd
f(i) = Mei(i)
Next i
For i = 1 To NC
f(i + 1) = f(i + 1) + Med(i)
Next i
End If
End If
End If
'Si la viga tiene empotramientos, modificar la
matriz de rigidez
'y el vector de fuerzas
If (empizq = 2 And empder = 1) Or (empizq
= 4 And empder = 5) Then
For i = 2 To nd
For j = 2 To nd
KG(i - 1, j - 1) = KG(i, j)
f(i - 1) = f(i)
Next j
Next i
For i = i To NC
KG(nd, i) = KG(1, i + 1)
Next i
For i = 1 To NC
KG(i, nd) = KG(i + 1, 1)
Next i
KG(nd, nd) = KG(1, 1)
f(nd) = f(1)
'Grados de libertad no restringidos:
nd = nd - 1
End If
If empder = 2 And empizq = 1 Or empizq = 5
And empder = 4 Then
'Grados de libertad no restringidos:
nd = nd - 1
End If
If empdos = 1 Then
For i = 2 To nd
For j = 2 To nd
KG(i - 1, j - 1) = KG(i, j)
f(i - 1) = f(i)
Next j
Next i
For i = 1 To NC
KG(nd, i) = KG(1, i + 1)
Next i
For i = 1 To NC
KG(i, nd) = KG(i + 1, 1)
Next i
KG(nd, nd) = KG(1, 1)
f(nd) = f(1)
'Grados de libertad no restringidos
nd = nd - 2
End If
'Resolver sistema de ecuaciones utilizando
choleski AX=Y
sumu = 0
sumuu = 0
'Obtener factización A=LU
U(1, 1) = Sqr(KG(1, 1))
For i = 2 To nd
For j = 2 To nd
U(1, j) = KG(1, j) / U(1, 1)
For k = 1 To (i - 1)
sumu = sumu + (U(k, i)) ^ 2
Next k
U(i, i) = Sqr(KG(i, i) - sumu)
sumu = 0
If j > i Then
For k = 1 To (i - 1)
sumuu = sumuu + U(k, i) * U(k, j)
Next k
U(i, j) = (KG(i, j) - sumuu) / U(i, i)
sumuu = 0
Else
If j < i Then
U(i, j) = 0
End If
End If
Next j
Next i
'Resolver LZ=Y
For i = 1 To nd
For j = 1 To nd
If j <= i Then

```

```

UT(i, j) = U(j, i)
Else
UT(i, j) = 0
End If
Next j
Next i
Mult = 0
Z(1) = -f(1) / UT(1, 1)
For i = 2 To nd
For j = 1 To (i - 1)
Mult = Mult + UT(i, j) * Z(j)
Z(i) = (-f(i) - Mult) / UT(i, i)
Next j
Mult = 0
Next i
'Resolver UX=Z x=desplazamientos globales
T
Mult = 0
t(nd) = Z(nd) / U(nd, nd)
For i = nd - 1 To 1 Step -1
For j = (i + 1) To nd
Mult = Mult + U(i, j) * t(j)
t(i) = (Z(i) - Mult) / U(i, i)
Next j
Mult = 0
Next i
'Si la viga tiene empotramientos reenumerar
los giros
If (empizq = 2 And empder = 1) Or empizq =
4 And empder = 5 Then
ReDim TE(NC + 2)
For i = 1 To NC
TE(i + 1) = t(i)
Next i
TE(1) = 0
End If
'CALCULAR MOMENTOS EN
EXTREMOS DE BARRA kg-m Mi=kd+Me
'Voladizo en el extremo derecho
If empizq = 2 And empder = 4 Then
For i = 1 To (NC - 1)
MI(i) = kpp(i) * t(i) + kqp(i) * t(i + 1) +
Mei(i)
MD(i) = kqp(i) * t(i) + Kqq(i) * t(i + 1) +
Med(i)
Next i
Else
'Voladizo en extremo derecho con
empotramiento
If empizq = 4 And empder = 5 Then
For i = 1 To (NC - 1)
MI(i) = kpp(i) * TE(i) + kqp(i) * TE(i + 1) +
Mei(i)
MD(i) = kqp(i) * TE(i) + Kqq(i) * TE(i + 1)
+ Med(i)
Next i
Else
'ambos extremos con voladizo
If empizq = 6 And empder = 6 Then
For i = 2 To (NC - 1)
MI(i) = kpp(i) * t(i - 1) + kqp(i) * t(i) +
Mei(i)
MD(i) = kqp(i) * t(i - 1) + Kqq(i) * t(i) +
Med(i)
Next i
Else
'empotrado-articulado
If empizq = 2 And empder = 1 Then
For i = 1 To NC
MI(i) = kpp(i) * TE(i) + kqp(i) * TE(i + 1) +
Mei(i)
MD(i) = kqp(i) * TE(i) + Kqq(i) * TE(i + 1)
+ Med(i)
Next i
Else
For i = 1 To NC
MI(i) = kpp(i) * t(i) + kqp(i) * t(i + 1) +
Mei(i)
MD(i) = kqp(i) * t(i) + Kqq(i) * t(i + 1) +
Med(i)
Next i
End If
End If
End If
End If
End If
'CALCULAR LA MAGNITUD DEL
MOMENTO EN CADA SEGMENTO DEL
CLARO
'CALCULO DE REACCIONES
ReDim Ra(NC + 1)
For i = 1 To NC

```

```

Ra(i) = (MI(i) + MD(i)) / L(i)
For m = 1 To nloads
If AW(i, m) = 0 And BW(i, m) = 0 Then
Ra(i) = Ra(i) + (W(i, m) * L(i) / 2 + P(i, m) *
(L(i) - a(i, m)) / L(i)) - MC(i, m) / L(i)
Else
Ra(i) = Ra(i) + W(i, m) / L(i) * (L(i) - AW(i,
m) - BW(i, m)) * (L(i) / 2 - AW(i, m) / 2 +
BW(i, m) / 2) + P(i, m) * (L(i) - a(i, m)) / L(i)
- MC(i, m) / L(i)
End If
Next m
Next i
'Voladizo en el extemo derecho
If empizq = 4 And empder = 5 Or empizq = 2
And empder = 4 Then
For i = 1 To (NC - 1)
For j = 1 To seg
Ma(i, j) = Ra(i) * x(i, j) - MI(i)
Va(i, j) = Ra(i)
For m = 1 To nloads
If x(i, j) >= a(i, m) Then
Ma(i, j) = Ma(i, j) - P(i, m) * (x(i, j) - a(i, m))
Va(i, j) = Va(i, j) - P(i, m)
End If
If x(i, j) >= AM(i, m) Then
Ma(i, j) = Ma(i, j) + MC(i, m)
End If
If x(i, j) >= AW(i, m) And x(i, j) <= (L(i) -
BW(i, m)) Then
Ma(i, j) = Ma(i, j) - W(i, m) * (x(i, j) - AW(i,
m)) ^ 2 / 2
Va(i, j) = Va(i, j) - W(i, m) * (x(i, j) - AW(i,
m))
End If
If x(i, j) > (L(i) - BW(i, m)) Then
Ma(i, j) = Ma(i, j) - W(i, m) * (L(i) - AW(i,
m) - BW(i, m)) * (x(i, j) - AW(i, m) - (L(i) -
AW(i, m) - BW(i, m)) / 2)
Va(i, j) = Va(i, j) - W(i, m) * (L(i) - AW(i, m)
- BW(i, m))
End If
Next m
ProgressBar1.Value = j
Next j
VI(i) = Ra(i)
VD(i) = Va(i, seg)
Next i
For j = 1 To seg
For m = 1 To nloads
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) + (W(NC, m) *
(L(NC) - AW(NC, m) - BW(NC, m)) +
P(NC, m) * x(NC, j) - P(NC, m) * a(NC, m)
- W(NC, m) * (L(NC) - AW(NC, m) -
BW(NC, m)) * ((L(NC) - AW(NC, m) -
BW(NC, m)) / 2 + AW(NC, m)) - MC(NC,
m)
Va(NC, j) = Va(NC, j) + W(NC, m) * (L(NC)
- AW(NC, m) - BW(NC, m)) + P(NC, m)
Next m
Next j
For j = 1 To seg
For m = 1 To nloads
If x(NC, j) >= a(NC, m) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - P(NC, m) * (x(NC,
j) - a(NC, m))
Va(NC, j) = Va(NC, j) - P(NC, m)
End If
If x(NC, j) >= AM(NC, m) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) + MC(NC, m)
End If
If x(NC, j) >= AW(NC, m) And x(NC, j) <=
(L(NC) - BW(NC, m)) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - W(NC, m) * (x(NC,
j) - AW(NC, m)) ^ 2 / 2
Va(NC, j) = Va(NC, j) - W(NC, m) * (x(NC,
j) - AW(NC, m))
End If
If x(NC, j) > (L(NC) - BW(NC, m)) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - W(NC, m) *
(L(NC) - AW(NC, m) - BW(NC, m)) *
(x(NC, j) - AW(NC, m) - (L(NC) - AW(NC,
m) - BW(NC, m)) / 2)
Va(NC, j) = Va(NC, j) - W(NC, m) * (L(NC)
- AW(NC, m) - BW(NC, m))
End If
Next m
Next j
For m = 1 To nloads
MI(NC) = MI(NC) + P(NC, m) * a(NC, m) +
W(NC, m) * (L(NC) - AW(NC, m) -
BW(NC, m)) * ((L(NC) - AW(NC, m) -
BW(NC, m)) / 2 + AW(NC, m)) + MC(NC,
m)
Next m
MD(NC) = 0
Else
'Voladizo en el extremo izquierdo
If empizq = 5 And empder = 4 Or empizq = 4
And empder = 2 Then
For i = 2 To (NC)

```

```

For j = 1 To seg
Ma(i, j) = Ra(i) * x(i, j) - MI(i)
Va(i, j) = Ra(i)
For m = 1 To nloads
If x(i, j) >= a(i, m) Then
Ma(i, j) = Ma(i, j) - P(i, m) * (x(i, j) - a(i, m))
Va(i, j) = Va(i, j) - P(i, m)
End If
If x(i, j) >= AM(i, m) Then
Ma(i, j) = Ma(i, j) + MC(i, m)
End If
If x(i, j) >= AW(i, m) And x(i, j) <= (L(i) -
BW(i, m)) Then
Ma(i, j) = Ma(i, j) - W(i, m) * (x(i, j) - AW(i,
m)) ^ 2 / 2
Va(i, j) = Va(i, j) - W(i, m) * (x(i, j) - AW(i,
m))
End If
If x(i, j) > (L(i) - BW(i, m)) Then
Ma(i, j) = Ma(i, j) - W(i, m) * (L(i) - AW(i,
m) - BW(i, m)) * (x(i, j) - AW(i, m) - (L(i) -
AW(i, m) - BW(i, m)) / 2)
Va(i, j) = Va(i, j) - W(i, m) * (L(i) - AW(i, m)
- BW(i, m))
End If
Next m
ProgressBar1.Value = j
Next j
VI(i) = Ra(i)
VD(i) = Va(i, seg)
Next i
For j = 1 To seg
For m = 1 To nloads
If x(1, j) >= a(1, m) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) - P(1, m) * (x(1, j) - a(1,
m))
Va(1, j) = Va(1, j) - P(1, m)
End If
If x(1, j) >= AM(1, m) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) + MC(1, m)
End If
If x(1, j) >= AW(1, m) And x(1, j) <= (L(1) -
BW(1, m)) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) - W(1, m) * (x(1, j) -
AW(1, m)) ^ 2 / 2
Va(1, j) = Va(1, j) - W(1, m) * (x(1, j) -
AW(1, m))
End If
If x(1, j) > (L(1) - BW(1, m)) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) - W(1, m) * (L(1) -
AW(1, m) - BW(1, m)) * (x(1, j) - AW(1, m) -
(L(1) - AW(1, m) - BW(1, m)) / 2)
Va(1, j) = Va(1, j) - W(1, m) * (L(1) - AW(1, m)
- BW(1, m))
End If
Next m
ProgressBar1.Value = j
Next j
VI(i) = Ra(i)
VD(i) = Va(i, seg)
Next i
For j = 1 To seg
For m = 1 To nloads
If x(1, j) >= a(1, m) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) - P(1, m) * (x(1, j) - a(1,
m))
Va(1, j) = Va(1, j) - P(1, m)
End If
Ma(1, j) = Ma(1, j) - W(1, m) * (L(1) -
AW(1, m) - BW(1, m)) * (x(1, j) - AW(1, m) -
(L(1) - AW(1, m) - BW(1, m)) / 2)
Va(1, j) = Va(1, j) - W(1, m) * (L(1) - AW(1, m)
- BW(1, m))
End If
Next m
ProgressBar1.Value = j
Next j
VI(i) = Ra(i)
VD(i) = Va(i, seg)
Next i
For j = 1 To seg
For m = 1 To nloads
If x(1, j) >= a(1, m) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) - P(1, m) * (x(1, j) - a(1,
m))
Va(1, j) = Va(1, j) - P(1, m)

```

```

End If
If x(1, j) >= AM(1, m) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) + MC(1, m)
End If
If x(1, j) >= AW(1, m) And x(1, j) <= (L(1) -
BW(1, m)) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) - W(1, m) * (x(1, j) -
AW(1, m)) ^ 2 / 2
Va(1, j) = Va(1, j) - W(1, m) * (x(1, j) -
AW(1, m))
End If
If x(1, j) > (L(1) - BW(1, m)) Then
Ma(1, j) = Ma(1, j) - W(1, m) * (L(1) -
AW(1, m) - BW(1, m)) * (x(1, j) - AW(1, m)
- (L(1) - AW(1, m) - BW(1, m)) / 2)
Va(1, j) = Va(1, j) - W(1, m) * (L(1) - AW(1,
m) - BW(1, m))
End If
Next m
Next j
For j = 1 To seg
For m = 1 To nloads
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) + (W(NC, m) *
(L(NC) - AW(NC, m) - BW(NC, m)) +
P(NC, m) * x(NC, j) - P(NC, m) * a(NC, m)
- W(NC, m) * (L(NC) - AW(NC, m) -
BW(NC, m)) * ((L(NC) - AW(NC, m) -
BW(NC, m)) / 2 + AW(NC, m)) - MC(NC,
m)
Va(NC, j) = Va(NC, j) + W(NC, m) * (L(NC)
- AW(NC, m) - BW(NC, m)) + P(NC, m)
Next m
Next j
For j = 1 To seg
For m = 1 To nloads
If x(NC, j) >= a(NC, m) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - P(NC, m) * (x(NC,
j) - a(NC, m))
Va(NC, j) = Va(NC, j) - P(NC, m)
End If
If x(NC, j) >= AM(NC, m) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) + MC(NC, m)
End If
If x(NC, j) >= AW(NC, m) And x(NC, j) <=
(L(NC) - BW(NC, m)) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - W(NC, m) * (x(NC,
j) - AW(NC, m)) ^ 2 / 2
Va(NC, j) = Va(NC, j) - W(NC, m) * (x(NC,
j) - AW(NC, m))
End If
If x(NC, j) > (L(NC) - BW(NC, m)) Then
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - W(NC, m) *
(L(NC) - AW(NC, m) - BW(NC, m)) * (x(NC,
j) - AW(NC, m) - (L(NC) -
AW(NC, m) - BW(NC, m)) / 2)
Va(NC, j) = Va(NC, j) - W(NC, m) * (L(NC) - AW(NC, m)
- BW(NC, m))
End If
Next m
ProgressBar1.Value = j
Next j
VI(i) = Ra(i)
Ma(NC, j) = Ma(NC, j) - W(NC, m) *
(L(NC) - AW(NC, m) - BW(NC, m)) *
(x(NC, j) - AW(NC, m) - (L(NC) - AW(NC,
m) - BW(NC, m)) / 2)
Va(NC, j) = Va(NC, j) - W(NC, m) * (L(NC)
- AW(NC, m) - BW(NC, m))
End If
Next m
Next j
For m = 1 To nloads
MI(1) = 0
MD(1) = Ma(1, seg)
MI(NC) = MI(NC) + P(NC, m) * a(NC, m) +
W(NC, m) * (L(NC) - AW(NC, m) -
BW(NC, m)) * ((L(NC) - AW(NC, m) -
BW(NC, m)) / 2 + AW(NC, m)) + MC(NC,
m)
MD(NC) = 0
Next m
Next m
Else
'PARA LOS DEMÁS CASOS
For i = 1 To NC
For j = 1 To seg
Ma(i, j) = Ra(i) * x(i, j) - MI(i)
Va(i, j) = Ra(i)
For m = 1 To nloads
If x(i, j) >= a(i, m) Then
Ma(i, j) = Ma(i, j) - P(i, m) * (x(i, j) - a(i, m))
Va(i, j) = Va(i, j) - P(i, m)
End If
If x(i, j) >= AM(i, m) Then
Ma(i, j) = Ma(i, j) + MC(i, m)
End If
If x(i, j) >= AW(i, m) And x(i, j) <= (L(i) -
BW(i, m)) Then
Ma(i, j) = Ma(i, j) - W(i, m) * (x(i, j) - AW(i,
m)) ^ 2 / 2
Va(i, j) = Va(i, j) - W(i, m) * (x(i, j) - AW(i,
m))
End If
If x(i, j) > (L(i) - BW(i, m)) Then
Ma(i, j) = Ma(i, j) - W(i, m) * (L(i) - AW(i,
m) - BW(i, m)) * (x(i, j) - AW(i, m) - (L(i) -
AW(i, m) - BW(i, m)) / 2)
Va(i, j) = Va(i, j) - W(i, m) * (L(i) - AW(i, m)
- BW(i, m))
End If
Next m
ProgressBar1.Value = j
Next j
VI(i) = Ra(i)

```

```
VD(i) = Va(i, seg)
Next i
End If
End If
End If

'Valores de momento muy pequeños son cero
For i = 1 To NC
If Abs(MI(i)) < 0.00001 Then
MI(i) = 0#
End If
If Abs(MD(i)) < 0.00001 Then
MD(i) = 0#
End If
Next i
'ENCONTRAR EL MOMENTO POSITIVO
MÁXIMO
For i = 1 To NC
Mmax = 0
For j = 1 To seg
If Ma(i, j) > Mmax Then Mmax = Ma(i, j)
Next j
MPOS(i) = Mmax
Next i
results = 1
Frame5.Visible = False
Frame1(4).Visible = True
ProgressBar1.Visible = False
Frame6.Visible = False
ACEPTAR(3).SetFocus
RESULTADOS.Enabled = True
INTERAC.Enabled = True
End Sub
```

RUTINA PARA EL DIAGRAMA DE CORTE EN EL MÓDULO INTERACTIVO

```

Private Sub Picture2_Mouseup(Button As Integer, Shift As Integer, x As Single, y As Single)
Dim VERT, MREAL1, MREAL2,
MINTERAC, vder, vizq, vint As Double
Frame1.Caption = " Utilice el ratón para dibujar la forma de los diagramas de Corte y Momento"
If CORTEXITO = 0 Then
Exit Sub
End If
If Option1(0) = False And Option1(1) = False Then
MsgBox ("SELECCIONE EL TIPO DE DIAGRAMA (LINEAL O PARABÓLICO)", , ("¡ATENCIÓN!"))
Exit Sub
End If
If FALTABORRAR = 1 Then
MsgBox ("POR FAVOR PRESIONE EL BOTON DE BORRAR", , ("¡ATENCIÓN!"))
Exit Sub
End If
Select Case Button
Case 1
'Corregir forma del diagrama de corte
If Option1(1) = True Then
MsgBox ("LA VIGA MOSTRADA NO PUEDE TENER UN DIAGRAMA DE CORTE PARABÓLICO"), , ("¡ERROR!")
Exit Sub
End If
xo = 1
xf = Picture2.Width
yo = Picture2.Height / 2
Picture2.AutoRedraw = True
If Option1(0).Value = True Then
If paso = 0 Then
If REDX(x) <> 0 Then
MsgBox ("USTED DEBE EMPEZAR POR EL EXTREMO IZQUIERDO"), , ("¡ATENCIÓN!")
Exit Sub
End If
x1 = REDX(x)
y1 = REDY(y, Picture2.Height)
End If
'CORREGIR EXTREMO IZQUIERDO
If x1 = 0 Then
If Sgn(VI(1)) <> Sgn(yo - y1) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL CORTE EN EL EXTREMO IZQUIERDO ES INCORRECTO"), , ("¡ERROR!")
Exit Sub
End If
End If
Picture2.Line (x1, y1)-(REDX(x), REDY(y, Picture2.Height)), QBColor(12)
'CORREGIR PUNTOS INTERMEDIOS
If paso <> 0 Then
If REDX(x) <> Picture2.Width Then
x2real = REDX(x)
Call valorder
vder = Vx(JJ)
If x1 = REDX(x) Then
vder = Vx(JJ + 3)
End If
If Abs(vder) < 0.0001 Then
vder = 0
End If
If Sgn(yo - REDY(y, Picture2.Height)) <> Sgn(vder) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL CORTANTE DEL ÚLTIMO PUNTO SELECCIONADO ES INCORRECTO. EMPIECE DE NUEVO"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
End If
'CORREGIR APOYOS INTERIORES
VERT = 0
If NC > 1 Then
For i = 1 To NC
VERT = VERT + L(i)
If x1 < (VERT * Picture2.Width / dist(seg * NC)) And REDX(x) > (VERT * 1.01 * Picture2.Width / dist(NC * seg)) Then
MsgBox ("USTED SELECCIONÓ UN PUNTO DESPUÉS DEL APOYO. EN EL APOYO DEBE HABER UN CAMBIO EN EL DIAGRAMA DE CORTE. EMPIECE DE NUEVO"), , ("¡ERROR!")

```

```

FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
If CHECAIZQ(i) = 0 Then
If (REDX(x)) = (VERT * Picture2.Width /
dist(NC * seg)) And REDX(x) < ((VERT +
L(i + 1)) * Picture2.Width / dist(seg * NC))
Then
II = i
CHECAIZQ(i) = 1
If Sgn(VD(i)) <> Sgn(yo - REDY(y,
Picture2.Height)) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL CORTE ANTES
DEL APOYO ES INCORRECTO.
EMPIECE DE NUEVO"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
End If
If CHECADER(i) = 0 Then
If (REDX(x)) > (VERT * 1.01 *
Picture2.Width / dist(NC * seg)) And
REDX(x) < ((VERT + L(i + 1)) *
Picture2.Width / dist(seg * NC)) Then
CHECADER(i) = 1
If Sgn(VI(i + 1)) <> Sgn(yo - y1) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL CORTE
DESPUÉS DEL APOYO ES
INCORRECTO. EMPIECE DE NUEVO"), ,
("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
End If
End If
Next i
End If
'CORREGIR PENDIENTE
If paso <> 0 Then
If x1 = REDX(x) Then
MINTERAC = (-REDY(y, Picture2.Height)
+ y1) / 0.001
Else
MINTERAC = (-REDY(y, Picture2.Height)
+ y1) / (REDX(x) - x1)
End If
x2real = REDX(x)
x1real = x1
x3real = (x1 + REDX(x)) / 2
Call valorizq
vizzq = Vx(II)
Call valorder
vder = Vx(JJ)
vint = Vx((JJ + II) / 2)
If x2real = x1real Then
vder = Vx(JJ + 2)
MREAL1 = (vder - vizzq) / 0.001
MREAL2 = (vder - vint) / 0.001
Mbandera = 1
If Sgn(vder) <> Sgn(vizzq) Then
VERT = 0
For k = 1 To NC
VERT = VERT + L(k)
If x1 > ((VERT - L(k)) * Picture2.Width /
dist(seg * NC)) And REDX(x) < (VERT *
Picture2.Width / dist(NC * seg)) Then
KK = k
CORTECERO(KK) = x1
End If
Next k
End If
Else
If Mbandera = 1 Then
vizzq = Vx(II + 3)
vint = Vx((JJ + II + 2) / 2)
Mbandera = 0
End If
MREAL1 = (vder - vizzq) / (x2real * dist(NC
* seg) / Picture2.Width - x1real * dist(NC *
seg) / Picture2.Width)
MREAL2 = (vint - vizzq) / (x3real * dist(NC *
seg) / Picture2.Width - x1real * dist(NC *
seg) / Picture2.Width)
If Abs(MREAL1) < 10 Then
MREAL1 = 0
End If
If (Abs((MREAL2 - MREAL1) / (MREAL1
+ 1)) * 100) <= 1 Then
MREAL2 = MREAL1
End If
End If
If Sgn(MINTERAC) <> Sgn(MREAL1) Or
MREAL1 <> MREAL2 Then
MsgBox ("LA PENDIENTE DE LA CURVA
ES INCORRECTA. EMPIECE DE
NUEVO"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If

```

```
'CALCULAR PUNTOS DE CORTE CERO
CUANDO EL DIAGRAMA TIENE
PENDIENTE
XTEMP = x1
VERT = 0
EXTREMO = 0
If MINTERAC <> 0 Then
For k = 1 To NC
For m = 1 To 300
If Abs(MINTERAC) > 100000 Then
YTEMP = yo - REDY(y, Picture2.Height)
Else
YTEMP = MINTERAC * (XTEMP - VERT
* Picture2.Width / dist(seg * NC)) + (yo - y1)
End If
If Abs(YTEMP) < 10 Then
If EXTREMO = 0 Then
If XTEMP > ((VERT) * Picture2.Width /
dist(seg * NC)) And XTEMP < ((VERT +
L(k)) * Picture2.Width / dist(NC * seg)) Then
KK = k
CORTECERO(KK) = XTEMP
EXTREMO = 1
End If
End If
End If
XTEMP = XTEMP + 25
Next m
VERT = VERT + L(k)
XTEMP = x1
Next k
End If

'CORREGIR EXTREMO DERECHO
If REDX(x) = Picture2.Width Then
If apder <> 2 Then
If Sgn(VD(NC)) <> Sgn(yo - REDY(y,
Picture2.Height)) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL CORTE EN EL
EXTREMO DERECHO ES INCORRECTO.
EMPIECE DE NUEVO"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
Else
EXTREMO = 0
For i = 1 To contaP(NC)
If a(NC, i) = L(NC) Then
EXTREMO = 1
End If
Next i
```

```
If EXTREMO = 1 Then
If Sgn(yo - REDY(y, Picture2.Height)) <>
Sgn(Vx(NC * seg - 2)) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL CORTE EN EL
EXTREMO DERECHO ES INCORRECTO.
EMPIECE DE NUEVO"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
Else
If Sgn(VD(NC)) <> Sgn(yo - REDY(y,
Picture2.Height)) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL CORTE EN EL
EXTREMO DERECHO ES INCORRECTO.
EMPIECE DE NUEVO"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
End If
MsgBox ("USTED HA TERMINADO EL
DIAGRAMA DE CORTE
SATISFACTORIAMENTE."), ,
("¡FELICIDADES!")
CORTEXITO = 0
paso = 0
Exit Sub
End If
x1 = REDX(x): x1t = x1
y1 = REDY(y, Picture2.Height): y1t = y1
End If
If Option1(1).Value = True Then
If paso = 0 Then
x1 = REDX(x): x1t = x1
y1 = REDY(y, Picture2.Height): y1t = y1
ElseIf paso = 1 Then
x2 = REDX(x): x2t = x2
y2 = REDY(y, Picture2.Height): y2t = y2
ElseIf paso = 2 Then
x3 = REDX(x): x3t = x3
y3 = REDY(y, Picture2.Height): y3t = y3
'CONSTANTES DE LA PARABOLA
ctea = (y3t - y1t + (y2t - y1t) * (x1t - x3t) /
(x2t - x1t)) / (x3t ^ 2 - x1t ^ 2 + (x2t ^ 2 - x1t
^ 2) * (x1t - x3t) / (x2t - x1t))
cteb = ((y2t - y1t) - ctea * (x2t ^ 2 - x1t ^
2)) / (x2t - x1t)
ctec = y1t - ctea * x1t ^ 2 - cteb * x1t
For i = 0 To Picture2.Width
```

```

    If ((i < x1 And i < x2 And i < x3) = False
And (i > x1 And i > x2 And i > x3) = False)
Then
    x = i: xt = x
    y = (ctea * xt ^ 2 + cteb * xt + ctec)
    Picture2.PSet (x, y), QBColor(12)
End If
Next i
paso = 0
x1 = x3: y1 = y3: x1t = x3t: y1t = y3t

```

```

End If
End If
    paso = paso + 1
Case 2
Picture2.AutoRedraw = False
Picture2.Cls
paso = 0
End Select
End Sub

```

RUTINA PARA EL DIAGRAMA DE MOMENTO EN EL MÓDULO INTERACTIVO

```

Private Sub picture3_MouseUp(Button As
Integer, Shift As Integer, x As Single, y As
Single)
Dim VERT, MREAL1, MREAL2,
MINTERAC, MINTERAC1, vder, vizq, vint
As Double
If CORTEXTITO = 1 Then
MsgBox ("PRIMERO DIBUJE EL
DIAGRAMA DE CORTE"), ,
("¡ATENCIÓN!")
Exit Sub
End If
If Option1(0) = False And Option1(1) = False
Then
MsgBox ("SELECCIONE EL TIPO DE
DIAGRAMA (LINEAL O
PARABÓLICO)", , ("¡ATENCIÓN!")
Exit Sub
End If
If FALTABORRAR = 1 Then
MsgBox ("POR FAVOR PRESIONE EL
BOTON DE BORRAR"), , ("¡ATENCIÓN!")
Exit Sub
End If
Select Case Button
Case 1
xo = 1
xf = Picture3.Width
yo = Picture3.Height / 2
Picture3.AutoRedraw = True

'SI SE SELECCIONÓ TIPO DE
DIAGRAMA LINEAL
If Option1(0).Value = True Then

```

```

Frame1.Caption = ""
If paso = 0 Then
If REDX(x) <> 0 Then
MsgBox ("USTED DEBE EMPEZAR POR
EL EXTREMO IZQUIERDO"), ,
("¡ATENCIÓN!")
Exit Sub
End If
End If
If paso = 0 Then
x1 = REDX(x)
y1 = REDY(y, Picture3.Height)
End If
'CORREGIR EXTREMO IZQUIERDO
If x1 = 0 Then
If Sgn(-MI(1)) <> Sgn(yo - y1) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL MOMENTO EN
EL EXTREMO IZQUIERDO ES
INCORRECTO"), , ("¡ERROR!")
Exit Sub
End If
COMOM = 0
End If

Picture3.Line (x1, y1)-(REDX(x), REDY(y,
Picture3.Height)), QBColor(12)
Picture3.Line (xo, yo)-(xf, yo), QBColor(1)

'VERIFICAR QUE NO SE CRUCE DE UN
CLARO A OTRO
If paso <> 0 Then
VERT = 0
For k = 1 To NC
VERT = VERT + L(k)

```

```

If x1 < (VERT * Picture2.Width / dist(seg *
NC)) And REDX(x) > (VERT *
Picture2.Width / dist(NC * seg)) Then
MsgBox ("USTED DEBE HACER EL
DIAGRAMA DE MOMENTO POR
TRAMOS, TOMANDO EN CUENTA LOS
CAMBIOS EN EL DIAGRAMA DE
CORTE Y EN CARGAS Y APOYOS. POR
FAVOR VUELVA A EMPEZAR"), ,
("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
Next k
End If

```

'VERIFICAR PUNTOS DE CORTE CERO

```

If paso <> 0 Then
If MINTERAC <> 0 Then
VERT = 0
For k = 1 To NC
VERT = VERT + L(k)
If REDX(x) > ((VERT - L(k)) *
Picture2.Width / dist(seg * NC)) And
REDX(x) < (VERT * Picture2.Width /
dist(NC * seg)) Then
KK = k
If (yo - REDY(y, Picture3.Width)) > 0 Then
If (REDX(x) > CORTECERO(KK) * 1.1 Or
REDX(x) < CORTECERO(KK) * 0.9) And
(CORTECERO(KK) - (VERT - L(k)) *
Picture2.Width / dist(NC * seg)) > 50 And
(VERT * Picture2.Width / dist(NC * seg) -
CORTECERO(KK)) > 50 Then
MsgBox ("EL MOMENTO MÁXIMO
POSITIVO SE ENCUENTRA DONDE EL
CORTE ES CERO. VUELVA A
EMPEZAR"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
End If
End If
Next k
End If
End If

```

'CORREGIR PUNTOS INTERMEDIOS

```

If paso <> 0 Then
If REDX(x) <> Picture3.Width Then
x2real = REDX(x)

```

```

Call valorder
vder = Mx(JJ)
If x1 = REDX(x) Then
vder = Mx(JJ + 3)
End If
If Sgn(yo - REDY(y, Picture3.Width)) <>
Sgn(vder) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL MOMENTO
DEL ÚLTIMO PUNTO SELECCIONADO
ES INCORRECTO. EMPIECE DE NUEVO
"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
End If

```

'CORREGIR FORMA (LINEAL O PARABÓLICO?)

```

If paso <> 0 Then
x2real = REDX(x)
x1real = x1
Call valorizq
vizq = Vx(II + 2)
Call valorder
vder = Vx(JJ)
If x1 = REDX(x) Then
MREAL1 = 0
Else
MREAL1 = (vder - vizq) / (x2real * dist(NC
* seg) / Picture2.Width - x1real * dist(NC *
seg) / Picture2.Width)
End If
If MREAL1 <> 0 Then
MsgBox ("EL DIAGRAMA DE MOMENTO
ES PARABÓLICO. EMPIECE DE
NUEVO"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If

```

'CORREGIR PENDIENTE

```

If paso <> 0 Then
If x1 = REDX(x) Then
MINTERAC = 10
Else
MINTERAC = (-REDY(y, Picture.Height) +
y1) / (REDX(x) - x1)
End If

```

```

x2real = REDX(x)
x1real = x1
x3real = (x1 + REDX(x)) / 2
Call valorizq
'OJO
'AQUI CORREGÍ Mx(II) POR MX(II+1)
vizq = Mx(II + 1)
Call valorder
vder = Mx(JJ)
vint = Mx((JJ + II) / 2)
If x2real = x1real Then
vder = Mx(JJ + 2)
MREAL1 = 10
MREAL2 = 10
MMbandera = 1
Else
If Mbandera = 1 Then
vizq = Mx(II + 3)
vint = Mx((JJ + II + 2) / 2)
Mbandera = 0
End If
MREAL1 = (vder - vizq) / (x2real * dist(NC
* seg) / Picture2.Width - x1real * dist(NC *
seg) / Picture2.Width)
MREAL2 = (vder - vint) / (x3real * dist(NC *
seg) / Picture2.Width - x1real * dist(NC *
seg) / Picture2.Width)
If Abs(MREAL1) < 10 Then
MREAL1 = 0
End If
If (Abs((MREAL2 - MREAL1) / (MREAL1
+ 1)) * 100) <= 2 Then
MREAL2 = MREAL1
End If
End If
If Sgn(MINTERAC) <> Sgn(MREAL1) Or
MREAL1 <> MREAL2 Then
MsgBox ("LA PENDIENTE DE LA CURVA
ES INCORRECTA. EMPIECE DE
NUEVO"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
'Termina corregir pendiente

'CORREGIR EXTREMO DERECHO
If REDX(x) = Picture3.Width Then
If apder <> 2 Then
If Sgn(MD(NC)) <> Sgn(yo - REDY(y,
Picture3.Height)) Then

```

```

MsgBox ("EL SIGNO DEL MOMENTO EN
EL EXTREMO DERECHO ES
INCORRECTO. EMPIECE DE NUEVO"), ,
("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
Else
EXTREMO = 0
For i = 1 To 5
If AM(NC, i) = L(NC) Then
EXTREMO = 1
End If
Next i
If EXTREMO = 1 Then
If Sgn(Ma(NC, seg - 2)) <> Sgn(yo -
REDY(y, Picture3.Height)) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL MOMENTO EN
EL EXTREMO DERECHO ES
INCORRECTO. EMPIECE DE NUEVO"), ,
("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
Else
If Sgn(MD(NC)) <> Sgn(yo - REDY(y,
Picture3.Height)) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL MOMENTO EN
EL EXTREMO DERECHO ES
INCORRECTO. EMPIECE DE NUEVO"), ,
("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
End If
End If
MsgBox ("USTED HA TERMINADO EL
DIAGRAMA DE MOMENTO
SATISFACTORIAMENTE."), ,
("¡ATENCIÓN!")
MOMENEXITO = 0
Frame1.Visible = False
Frame2.Visible = True
End If
'termina corregir extremo derecho

x1 = REDX(x): x1t = x1
y1 = REDY(y, Picture3.Height): y1t = y1
End If
'TERMINA DIAGRAMA LINEAL

```

```
'SI SE SELECCIONÓ TIPO DE
DIAGRAMA PARABÓLICO
If Option1(1).Value = True Then
If paso = 0 Then
Frame1.Caption = "Escoja tres puntos para
dibujar una parábola"
If REDX(x) <> 0 Then
MsgBox ("USTED DEBE EMPEZAR POR
EL EXTREMO IZQUIERDO"), ,
("¡ATENCIÓN!")
Exit Sub
End If
End If
If paso = 0 Then
    x1 = REDX(x): x1t = x1
    y1 = REDY(y, Picture3.Height): y1t = y1
'CORREGIR EXTREMO IZQUIERDO
If x1 = 0 Then
If Sgn(-M1(1)) <> Sgn(yo - y1) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL MOMENTO EN
EL EXTREMO IZQUIERDO ES
INCORRECTO"), , ("¡ERROR!")
Exit Sub
End If
COMOM = 0
End If
    ElseIf paso = 1 Then
        x2 = REDX(x): x2t = x2
        y2 = REDY(y, Picture3.Height): y2t = y2
'VERIFICAR QUE NO SE CRUCE DE UN
CLARO A OTRO
VERT = 0
For k = 1 To NC
VERT = VERT + L(k)
If x1 < (VERT * Picture2.Width / dist(seg *
NC)) And REDX(x) >= (VERT *
Picture2.Width / dist(NC * seg)) Then
MsgBox ("USTED DEBE HACER EL
DIAGRAMA DE MOMENTO POR
TRAMOS, TOMANDO EN CUENTA LOS
CAMBIOS EN EL DIAGRAMA DE
CORTE Y EN CARGAS Y APOYOS. POR
FAVOR VUELVA A EMPEZAR"), ,
("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
Next k

'VERIFICAR PUNTOS DE CORTE CERO
If paso <> 0 Then
```

```
VERT = 0
For k = 1 To NC
VERT = VERT + L(k)
If REDX(x) > ((VERT - L(k)) *
Picture2.Width / dist(seg * NC)) And
REDX(x) < (VERT * Picture2.Width /
dist(NC * seg)) Then
KK = k
If (yo - REDY(y, Picture3.Width)) > 0 Then
If (REDX(x) > CORTECERO(KK) * 1.1 Or
REDX(x) < CORTECERO(KK) * 0.9) And
(CORTECERO(KK) - (VERT - L(k)) *
Picture2.Width / dist(NC * seg)) > 50 And
(VERT * Picture2.Width / dist(NC * seg) -
CORTECERO(KK)) > 50 Then
MsgBox ("EL MOMENTO MÁXIMO
POSITIVO SE ENCUENTRA DONDE EL
CORTE ES CERO. VUELVA A
EMPEZAR"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
End If
Next k
End If
    'CORREGIR TIPO DE DIAGRAMA
If x1 = REDX(x) Then
MINTERAC = 10
Else
MINTERAC = (-REDY(y, Picture.Height) +
y1) / (REDX(x) - x1)
End If
If paso <> 0 Then
x2real = REDX(x)
x1real = x1
Call valorizq
vizq = Vx(II + 2)
Call valorder
vder = Vx(JJ)
If x2real = x1real Then
MREAL1 = 10
MREAL2 = 10
Mbandera = 1
Else
If Mbandera = 1 Then
vizq = Vx(II + 3)
Mbandera = 0
End If
```

```

MREAL1 = (vder - vizq) / (x2real * dist(NC
* seg) / Picture2.Width - x1real * dist(NC *
seg) / Picture2.Width)
End If
If MREAL1 = 0 Then
MsgBox ("EL DIAGRAMA DE MOMENTO
ES LINEAL. EMPIECE DE NUEVO"), ,
("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
'CORREGIR PUNTOS INTERMEDIOS
If paso <> 0 Then
If REDX(x) <> Picture3.Width Then
If REDX(x) <> 0 Then
x2real = REDX(x)
Call valorder
vder = Mx(JJ)
If Sgn(yo - REDY(y, Picture3.Width)) <>
Sgn(vder) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL MOMENTO
DEL ÚLTIMO PUNTO SELECCIONADO
ES INCORRECTO. EMPIECE DE NUEVO
"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
End If
End If

```

```

ElseIf paso = 2 Then
x3 = REDX(x): x3t = x3
y3 = REDY(y, Picture3.Height): y3t = y3

'VERIFICAR QUE NO SE CRUCE DE
UN CLARO A OTRO
VERT = 0
For k = 1 To NC
VERT = VERT + L(k)
If x2 < (VERT * Picture2.Width / dist(seg *
NC)) And REDX(x) > (VERT *
Picture2.Width / dist(NC * seg)) Then
MsgBox ("USTED DEBE HACER EL
DIAGRAMA DE MOMENTO POR
TRAMOS, TOMANDO EN CUENTA LOS
CAMBIOS EN EL DIAGRAMA DE
CORTE Y EN CARGAS Y APOYOS. POR
FAVOR VUELVA A EMPEZAR"), ,
("¡ERROR!")

```

```

FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
Next k

Frame1.Caption = ""
If x3 = x2 Or x2 > x3 Then
MsgBox ("ES IMPOSIBLE HACER UNA
PARÁBOLA CON LOS PUNTOS
SELECCIONADOS "), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If

'CORREGIR PUNTOS INTERMEDIOS
If REDX(x) <> Picture3.Width Then
If paso <> 0 Then
x2real = REDX(x)
Call valorder
vder = Mx(JJ)
If Sgn(yo - REDY(y, Picture3.Width)) <>
Sgn(vder) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL MOMENTO
DEL ÚLTIMO PUNTO SELECCIONADO
ES INCORRECTO. EMPIECE DE NUEVO
"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
End If

```

```

'CONSTANTES DE LA PARABOLA
ctea = (y3t - y1t + (y2t - y1t) * (x1t - x3t) /
(x2t - x1t)) / (x3t ^ 2 - x1t ^ 2 + (x2t ^ 2 - x1t
^ 2) * (x1t - x3t) / (x2t - x1t))
cteb = ((y2t - y1t) - ctea * (x2t ^ 2 - x1t ^
2)) / (x2t - x1t)
ctec = y1t - ctea * x1t ^ 2 - cteb * x1t
ProgressBar1.Visible = True
ProgressBar1.Min = 0
ProgressBar1.Max = Picture2.Width
ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Min
For i = 0 To Picture3.Width Step 15
If ((i < x1 And i < x2 And i < x3) = False
And (i > x1 And i > x2 And i > x3) = False)
Then
x = i: xt = x
y = (ctea * xt ^ 2 + cteb * xt + ctec)
Picture3.PSet (x, y), QBColor(12)

```

```

Picture3.Line (xo, yo)-(xf, yo),
QBColor(1)

End If
ProgressBar1.Value = i
Next i
ProgressBar1.Visible = False

'CORREGIR CONCAVIDAD
x1real = x1
Call valorizq
vizq = Mx(II)
x2real = x2
Call valorder
vint = Mx(JJ)
x2real = x3
Call valorder
vder = Mx(JJ)
MREAL1 = (vint - vizq) / (x2 - x1)
MREAL2 = (vder - vint) / (x3 - x2)
MINTERAC = (y1 - y2) / (x2 - x1)
MINTERAC1 = (y2 - y3) / (x3 - x2)
If Sgn(MREAL1 > MREAL2) <>
Sgn(MINTERAC > MINTERAC1) Then
MsgBox ("LA CONCAVIDAD DE LA
CURVA ES INCORRECTA. EMPIECE DE
NUEVO "), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If

paso = 0
x1 = x3: y1 = y3: x1t = x3t: y1t = y3t

End If
'End if de if paso=0, elseif paso=1, elseif
paso=2

'CORREGIR EXTREMO DERECHO
If REDX(x) = Picture3.Width Then
If Sgn(MD(NC)) <> Sgn(yo - REDY(y,
Picture3.Height)) Then
MsgBox ("EL SIGNO DEL MOMENTO EN
EL EXTREMO DERECHO ES
INCORRECTO. EMPIECE DE NUEVO"), ,
("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
MsgBox ("USTED HA COMPLETADO EL
DIAGRAMA DE MOMENTO
SATISFACTORIAMENTE"), ,
("¡FELICIDADES!")
MOMENEXITO = 0
Frame1.Visible = False
Frame2.Visible = True
End If

End If
paso = paso + 1
Case 2
Picture3.AutoRedraw = False
Picture3.Cls
paso = 0
End Select
End Sub

```

RUTINA PARA LA DEFORMADA EN EL MÓDULO INTERACTIVO

```

Private Sub picture5_MouseUp(Button As
Integer, Shift As Integer, x As Single, y As
Single)
Dim VERT, MREAL1, MREAL2,
MINTERAC, MINTERAC1, vder, vizq, vint
As Double
If FALTABORRAR = 1 Then
MsgBox ("POR FAVOR PRESIONE EL
BOTON DE BORRAR"), , ("¡ATENCIÓN!")
Exit Sub
End If

Select Case Button
Case 1
xo = 1
xf = Picture5.Width
yo = Picture5.Height / 2
Picture5.AutoRedraw = True

If paso = 0 Then
If REDX(x) <> 0 Then
MsgBox ("USTED DEBE EMPEZAR POR
EL EXTREMO IZQUIERDO"), ,
("¡ATENCIÓN!")
Exit Sub

```

```

End If
End If
If paso = 0 Then
    x1 = REDX(x): x1t = x1
    y1 = REDY(y, Picture5.Height): y1t = y1
'CORREGIR EXTREMO IZQUIERDO
If x1 = 0 Then
If apizq <> 2 Then
If Sgn(yo - y1) <> 0 Then
MsgBox ("LA DEFORMADA EN UN
APOYO DEBE SER CERO"), ,
("¡ERROR!")
Exit Sub
FALTABORRAR = 1
End If
ElseIf Sgn(yo - y1) = 0 Then
MsgBox ("LA DEFORMADA EN EL
EXTREMO DE UN VOLADIZO NO
PUEDE SER CERO"), , ("¡ERROR!")
Exit Sub
FALTABORRAR = 1
End If
COMDEF = 0
End If
    ElseIf paso = 1 Then
        x2 = REDX(x): x2t = x2
        y2 = REDY(y, Picture5.Height): y2t = y2
'Revisar empotramiento extremos (pendiente
debe ser cero)
'Empotramiento izquierdo
If x1 = 0 Then
If apizq = 1 Then
If (yo - y2) <> 0 Then
MsgBox ("LA PENDIENTE DE LA
DEFORMADA EN UN
EMPOTRAMIENTO DEBE SER CERO"), ,
("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
End If
End If

'CORREGIR APOYOS INTERIORES
VERT = 0
If NC > 1 Then
For i = 1 To NC
VERT = VERT + L(i)
If x1 < (VERT * Picture5.Width / dist(seg *
NC)) And x2 > (VERT * 1.01 *
Picture5.Width / dist(NC * seg)) Then
MsgBox ("USTED SELECCIONÓ UN
PUNTO DESPUÉS DEL APOYO.
RECUERDE QUE LA DEFORMADA
TIENE PENDIENTE CERO EN LOS
APOYOS INTERIORES. EMPIECE DE
NUEVO"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
ElseIf paso = 2 Then
    x3 = REDX(x): x3t = x3
    y3 = REDY(y, Picture5.Height): y3t = y3
If x3 = x2 Or x2 > x3 Or x2 = x1 Then
MsgBox ("ES IMPOSIBLE HACER UNA
PARÁBOLA CON LOS PUNTOS
SELECCIONADOS "), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If

'CORREGIR APOYOS INTERIORES
VERT = 0
If NC > 1 Then
For i = 1 To NC
VERT = VERT + L(i)
If x2 < (VERT * Picture5.Width / dist(seg *
NC)) And x3 > (VERT * 1.01 *
Picture5.Width / dist(NC * seg)) Then
MsgBox ("USTED SELECCIONÓ UN
PUNTO DESPUÉS DEL APOYO.
RECUERDE QUE LA DEFORMADA
TIENE PENDIENTE CERO EN LOS
APOYOS INTERIORES. EMPIECE DE
NUEVO"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If

```

```

If x3 = (VERT * Picture5.Width / dist(NC *
seg)) And x3 <> Picture5.Width Then
MsgBox ("LA DEFORMADA DEBE
TENER PENDIENTE CERO EN UN
APOYO INTERIOR"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
Next i
End If

```

```

'Revisar empotramiento extremos (pendiente
debe ser cero)
'Empotramiento derecho
If x3 = Picture5.Width Then
If apder = 1 Then
If (yo - y2) <> 0 Then
MsgBox ("LA PENDIENTE DE LA
DEFORMADA EN UN
EMPOTRAMIENTO DEBE SER CERO"), ,
("¡ERROR!")
Exit Sub
FALTABORRAR = 1
End If
End If
End If

```

```

'CONSTANTES DE LA PARABOLA
ctea = (y3t - y1t + (y2t - y1t) * (x1t - x3t) /
(x2t - x1t)) / (x3t ^ 2 - x1t ^ 2 + (x2t ^ 2 - x1t
^ 2) * (x1t - x3t) / (x2t - x1t))
cteb = ((y2t - y1t) - ctea * (x2t ^ 2 - x1t ^
2)) / (x2t - x1t)
ctec = y1t - ctea * x1t ^ 2 - cteb * x1t
ProgressBar1.Visible = True
ProgressBar1.Min = 0
ProgressBar1.Max = Picture2.Width
ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Min
For i = 0 To Picture5.Width Step 15
If ((i < x1 And i < x2 And i < x3) = False
And (i > x1 And i > x2 And i > x3) = False)
Then
x = i: xt = x
y = (ctea * xt ^ 2 + cteb * xt + ctec)
Picture5.PSet (x, y), QBColor(12)
Picture5.Line (xo, yo)-(xf, yo),
QBColor(1)
End If
ProgressBar1.Value = i

```

```

Next i
ProgressBar1.Visible = False

'CORREGIR CONCAVIDAD
'MREAL SE TOMA DEL DIAGRAMA
DE MOMENTOS
'MINTERAC SE TOMA DE LO
DIBUJADO POR EL USUARIO
x1real = x1
Call valorizq
vizq = Mx(II)
x2real = x2
Call valorder
vint = Mx(JJ)
x2real = x3
Call valorder
vder = Mx(JJ)
MREAL1 = (vint - vizq) / (x2 - x1)
MREAL2 = (vder - vint) / (x3 - x2)
MINTERAC = (y1 - y2) / (x2 - x1)
MINTERAC1 = (y2 - y3) / (x3 - x2)
If (Sgn(vint) > 0 And (MINTERAC >
MINTERAC1)) Or (Sgn(vint) < 0 And
(MINTERAC < MINTERAC1)) Then
MsgBox ("LA CONCAVIDAD DE LA
CURVA ES INCORRECTA. EMPIECE DE
NUEVO "), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If

paso = 0
x1 = x3: y1 = y3: x1t = x3t: y1t = y3t
End If
'End if de if paso=0, elseif paso=1, elseif
paso=2

'CORREGIR EXTREMO DERECHO
If REDX(x) = Picture5.Width Then
If apder <> 2 Then
If Sgn(yo - REDY(y, Picture5.Height)) <> 0
Then
MsgBox ("LA DEFLEXIÓN EN UN
APOYO DEBE SER CERO. EMPIECE DE
NUEVO"), , ("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
Elseif Sgn(yo - REDY(y, Picture5.Height)) =
0 Then

```

```
MsgBox ("LA DEFLEXIÓN EN EL
EXTREMO DEL VOLADIZO NO PUEDE
SER CERO. EMPIECE DE NUEVO"), ,
("¡ERROR!")
FALTABORRAR = 1
Exit Sub
End If
MsgBox ("USTED HA TERMINADO EL
DIAGRAMA DE LA DEFORMADA
```

```
SATISFACTORIAMENTE."), ,
("¡ATENCIÓN!")
End If
paso = paso + 1
Case 2
Picture5.AutoRedraw = False
Picture5.Cls
paso = 0
End Select
End Sub
```

RUTINAS PARA EL MENÚ DE FLEXIÓN EN VIGAS

CALCULO DEL MOMENTO RESISTENTE

```
Public Sub ITERACIONES()
'Fuerzas de tensión son positivas
MN = 0
Do
TENSION = 0
COMPRESION = 0
afibras = Beta1 * cfibras
'Método para calcular compresión del
concreto
If WHITNEYB = 1 Then
Call COMPREWHITNEY
Else
Call COMPREFIBRAS
End If
For i = 1 To ncapas + 1
Esi(i) = Ecs * (di(i) / cfibras - 1)
If Abs(Esi(i)) < fy / 2040000# Then
fsi(i) = 2040000# * Esi(i)
Else
fsi(i) = Sgn(Esi(i)) * fy
End If
Psi(i) = Asi(i) * fsi(i)
Next i
For i = 1 To ncapas + 1
If Psi(i) >= 0 Then
'Las fuerzas en el acero ya tienen el signo
adecuado
TENSION = TENSION + Psi(i)
Else
COMPRESION = COMPRESION + Psi(i)
End If
Next i
COMPRESION = COMPRESION - Cc
```

```
EQUILIBRIO = TENSION +
COMPRESION
If EQUILIBRIO > 0 Then
LSUP = cfibras
Else
LINF = cfibras
End If
cfibras = (LSUP + LINF) / 2
Loop Until Abs(EQUILIBRIO) < (TENSION
* 0.0001)
'Contribución del acero de refuerzo
For i = 1 To ncapas + 1
MN = MN + Psi(i) * di(i)
Next i
If WHITNEYB = 1 Then
'Centroide del área en compresión usando
withney
If trapecio = 0 Then
If afibras < hf Then
Yc = afibras / 2
Else
Yc = (b / 2 * hf ^ 2 + (afibras - hf) * bwt * (hf
/ 2 + afibras / 2)) / (b * hf + (afibras - hf) *
bwt)
End If
ElseIf trapecio = 1 Then
Yc = 1 / 3 * (3 * afibras * h - 2 * afibras ^ 2) /
(2 * h - afibras)
ElseIf trapecio = 2 Then
Yc = 2 * afibras / 3
End If
MN = MN - Cc * Yc
```

```

Else
For i = 1 To nfibras
MN = MN - Pci(i) * dci(i)
Next i
End If
End Sub

```

CALCULO DE FUERZA DE COMPRESIÓN CON WHITNEY

```

Public Sub COMPREWHITNEY()
If trapecio = 0 Then
If (afibras > hf) And hf <> 0 Then
Cc = 0.85 * fc * (hf * b + (afibras - hf) * bwt)
Else
Cc = 0.85 * fc * (afibras * b)
End If
ElseIf trapecio = 1 Then
Cc = 0.85 * fc * (afibras * b - afibras ^ 2 * b /
2 / h)
ElseIf trapecio = 2 Then
Cc = 0.85 * fc * (afibras ^ 2 * b / 2 / h)
End If
End Sub

```

CALCULO DE FUERZA DE COMPRESIÓN CON FIBRAS

```

Public Sub COMPREFIBRAS()
ReDim dci(nfibras + 1), Aci(nfibras + 1),
Eci(nfibras + 1), fci(nfibras + 1), Pci(nfibras
+ 1)
Cc = 0
tfibra = cfibras / nfibras
For i = 1 To nfibras
dci(i) = tfibra / 2 + (i - 1) * tfibra
If trapecio = 0 Then
If dci(i) > hf Then
Aci(i) = bwt * tfibra
Else
Aci(i) = b * tfibra
End If
ElseIf trapecio = 1 Then
Aci(i) = b * (h - dci(i)) / h * tfibra
ElseIf trapecio = 2 Then
Aci(i) = b * dci(i) / h * tfibra
End If
Next i
For i = 1 To nfibras
Eci(i) = Ecs * (1 - dci(i) / cfibras)

```

```

fci(i) = fc * (2 * Eci(i) / 0.002 - (Eci(i) /
0.002) ^ 2)
Pci(i) = fci(i) * Aci(i)
Cc = Cc + Pci(i)
Next i
End Sub

```

DISEÑO DE ESTRIBOS

```

Public Sub calcular()
rec = 6
fi = 0.85
ProgressBar1.Visible = True
ProgressBar1.Min = 0
ProgressBar1.Max = 6
ProgressBar1.Value = ProgressBar1.Min
'Resistencia del concreto y Vsmax
fiVc = 0.85 * 0.55 * (fc) ^ 0.5 * b * (h - rec)
Call Aestribo
Vsmax = 2.1 * (fc) ^ 0.5 * b * (h - rec)
'CALCULO PARA EXTREMO
IZQUIERDO
'Separación critica
x1real = (dist((JJ - 1) * seg) + (h - rec) / 100)
* Picture2.Width / dist(NC * seg)
Call valorizq
Vcrit = Abs(Vx(II))
Vs = (Vcrit - fiVc) / fi
If Vs > 0 Then
If Vs > Vsmax Then
MsgBox ("LA SECCIÓN NO ES
ADECUADA PARA RESISITIR EL
CORTANTE"), , ("ATENCIÓN")
YAESTUVO = 0
ProgressBar1.Visible = False
Exit Sub
End If
Sizq = Av * fy * (h - rec) / Vs
ElseIf Vcrit < fiVc / 2 Then
Sizq = 0
ElseIf fiVc / 2 < Vcrit And Vcrit < fiVc Then
Sizq = 500
End If
If Vs <= (1.1 * (fc) ^ 0.5 * b * (h - rec)) Then
Smax = (h - rec) / 2
If Smax > 60 Then
Smax = 60
End If
Else
Smax = (h - rec) / 4
If Smax > 30 Then
Smax = 30
End If
End If
If Sizq > Smax Then
Sizq = Smax
End If
ProgressBar1.Value = 1
'Distancia para usar Smax
fiVnmax = fiVc + 0.85 * Av * fy / Smax
x1real = dist((JJ - 1) * seg) * Picture2.Width /
dist(NC * seg)
Do
Sizq2 = Smax
x1real = x1real + (L(JJ) / 400) *
Picture2.Width / dist(NC * seg)
Call valorizq
If x1real >= dist(JJ * seg) * Picture2.Width /
dist(NC * seg) Then
Sizq2 = Sizq
x1real = dist(JJ * seg) * Picture2.Width /
dist(NC * seg)
Exit Do
End If
Loop Until Abs(Vx(II)) < fiVnmax
dizq1 = x1real * dist(NC * seg) /
Picture2.Width - dist((JJ - 1) * seg) + L(JJ) /
400
ProgressBar1.Value = 2
'Distancia para no usar estribos
x1real = dist((JJ - 1) * seg) * Picture2.Width /
dist(NC * seg)
Do
x1real = x1real + (L(JJ) / 400) *
Picture2.Width / dist(NC * seg)
Call valorizq
If x1real >= dist(JJ * seg) * Picture2.Width /
dist(NC * seg) Then
sizq3 = Sizq2
x1real = dist(JJ * seg) * Picture2.Width /
dist(NC * seg)
Exit Do
End If
Loop Until Abs(Vx(II)) < fiVc / 2
dizq2 = x1real * dist(NC * seg) /
Picture2.Width - dist((JJ - 1) * seg) + L(JJ) /
400
ProgressBar1.Value = 3
'CALCULO EXTREMO DERECHO
'Separación critica
x1real = (dist(JJ * seg) - (h - rec) / 100) *
Picture2.Width / dist(NC * seg)
Call valorizq
Vcrit = Abs(Vx(II))

```

```

Vs = (Vcrit - fiVc) / fi
If Vs > 0 Then
If Vs > Vsmax Then
MsgBox ("LA SECCIÓN NO ES
ADECUADA PARA RESISITIR EL
CORTANTE"), , ("ATENCIÓN")
YAESTUVO = 0
Exit Sub
End If
Sder = Av * fy * (h - rec) / Vs
ElseIf Vcrit < fiVc / 2 Then
Sder = 0
ElseIf fiVc / 2 < Vcrit And Vcrit < fiVc Then
Sder = 500
End If
If Vs <= 1.1 * (fc) ^ 0.5 * b * (h - rec) Then
Smax = (h - rec) / 2
If Smax > 60 Then
Smax = 60
End If
Else
Smax = (h - rec) / 4
If Smax > 30 Then
Smax = 30
End If
End If
If Sder > Smax Then
Sder = Smax
End If
ProgressBar1.Value = 4
'Distancia para usar Smax
fiVnmax = fiVc + 0.85 * Av * fy / Smax
x1real = dist(JJ * seg) * Picture2.Width /
dist(NC * seg)
Do
Sder2 = Smax
x1real = x1real - L(JJ) / 400 * Picture2.Width
/ dist(NC * seg)
Call valorizq
If x1real <= dist((JJ - 1) * seg) Then
Sder2 = Sder
x1real = dist((JJ - 1) * seg) * Picture2.Width /
dist(NC * seg)
Exit Do
End If
Loop Until Abs(Vx(II)) < fiVnmax
dder1 = dist(JJ * seg) - x1real * dist(NC *
seg) / Picture2.Width - L(JJ) / 400
ProgressBar1.Value = 5
'Distancia para no usar estribos

x1real = dist(JJ * seg) * Picture2.Width /
dist(NC * seg)
Do
x1real = x1real - L(JJ) / 400 * Picture2.Width
/ dist(NC * seg)
Call valorizq
If x1real < dist((JJ - 1) * seg) *
Picture2.Width / dist(NC * seg) Then
Sder3 = Sder2
x1real = dist((JJ - 1) * seg) * Picture2.Width /
dist(NC * seg)
Exit Do
End If
Loop Until Abs(Vx(II)) < fiVc / 2
dder2 = dist(JJ * seg) - x1real * dist(NC *
seg) / Picture2.Width
ProgressBar1.Value = 6
'TERMINA DISEÑO DE ESTRIBOS
YAESTUVO = 0
'MOSTRAR RESULTADOS EN
PANTALLA
If Sder = 0 And Sizq = 0 Then
MsgBox ("NO SE NECESITAN
ESTRIBOS"), , ("ATENCIÓN")
ProgressBar1.Visible = False
Frame1.Visible = True
If NC = 1 Then
Frame1.Caption = "HAGA CLICK EN LA
VIGA CON EL RATÓN PARA HACER
DISEÑO"
Else
Frame1.Caption = "ESCOJA CON EL
RATÓN EL CLARO DE LA VIGA QUE
DESEE DISEÑAR"
End If
YAESTUVO = 0
Exit Sub
End If
Ens sub

```

DISEÑO DE REFUERZO EN COLUMNAS

```

Public Sub DISREF()
cfibras = h
Ecs = 0.003
Xplastico = h / 2
rocol = 0.01
Do
If rocol > 0.08 Then
MsgBox ("LA SECCIÓN DE LA
COLUMNA ES MUY PEQUEÑA PARA
RESISTIR LAS CARGAS"), ,
("ATENCIÓN")
Exit Sub
End If
'PARA COLUMNA RECTANGULAR
If CIRCBANDERA = 0 Then
Asreq = rocol * Ag
NVREQ = Asreq / asvar
'Con la cuantía propuesta, utilizar un arreglo
en 4 caras
If NVREQ <= 4 Then
ncapas = 2
ElseIf 4 < NVREQ And NVREQ <= 8 Then
ncapas = 3
ElseIf 8 < NVREQ And NVREQ <= 12 Then
ncapas = 4
ElseIf 12 < NVREQ And NVREQ <= 16
Then
ncapas = 5
ElseIf 16 < NVREQ And NVREQ <= 20
Then
ncapas = 6
'Para no aceptar arreglos con mas de 20
varillas...
ElseIf 20 < NVREQ Then
MsgBox ("UTILICE UNA VARILLA MÁS
GRANDE"), , ("ATENCIÓN")
Exit Sub
End If
cfibras = h
Ecs = 0.003
Call REFRECTANG
Call ITERACIONES
Call VERIFPUNTO
If resiste = 1 Then
SOLUCN = NVARC
Else
rocol = rocol + 0.005
End If
Else
'PARA COLUMNA CIRCULAR
Asreq = rocol * Ag
NVREQ = Asreq / asvar
NVARC = Int(NVREQ) + 1
cfibras = h
Ecs = 0.003
Call REFCIRCULAR
Call ITERACIONES
Call VERIFPUNTO
If resiste = 1 Then
SOLUCN = NVARC
Else
rocol = rocol + 0.005
End If
End If
Loop Until resiste = 1
Frame14.Visible = True
ACEPTAR(12).SetFocus
If CIRCBANDERA = 0 Then
Frame14.Caption = "USAR ARMADO EN
CUATRO CARAS"
Image7.Visible = True
Image8.Visible = False
Else
Frame14.Caption = "ARMADO UNIFORME
"
Image7.Visible = False
Image8.Visible = True
End If
Text4.Text = SOLUCN
Text5.Text = Sqr(4 * asvar / pi) / 2.54 * 8
End Sub
Public Sub VERIFPUNTO()
'Verificar que el punto quede dentro del
diagrama de interacción
resiste = 1
If Pu > 0.8 * axial(0) Then
resiste = 0
End If
If Mu = 0 Then
cruceX = 0
cruceY = Pu
Else
For i = 1 To (npuntos - 1)
'Encontrar puntos consecutivos que contienen
el cruce de las dos rectas
aux1 = Pu / Mu * MOMENTO(i)

```

```

aux2 = Pu / Mu * MOMENTO(i + 1)
If Sgn(axial(i) - aux1) <> Sgn(axial(i + 1) -
aux2) Then
II = i
End If
Next i
pendiente = (axial(II + 1) - axial(II)) /
(MOMENTO(II + 1) - MOMENTO(II))
cruceX = (axial(II) - pendiente *
MOMENTO(II)) / (Pu / Mu - pendiente)
cruceY = Pu / Mu * cruceX
End If
If Pu > cruceY Or Mu > cruceX Then
resiste = 0
End If
End Sub

```

DIAGRAMA DE INTERACCIÓN

```

Public Sub ITERACIONES()
'factor de reducción phi
If ESTRIBOS(0).Value = True Then
ficol = 0.7
Else
ficol = 0.75
End If
'Fuerzas de tensión son positivas
MN = 0
For k = 1 To npuntos
TENSION = 0
COMPRESION = 0
MN = 0
afibras = Beta1 * cfibras
'Método para calcular compresión del
concreto, columnas rectangulares o circulares
If CIRCBANDERA = 0 Then
Cc = 0.85 * fc * (afibras * b)
Else
alfa = Atn(Sqr((h / 2) ^ 2 - (h / 2 - afibras) ^
2) / Abs(h / 2 - afibras))
sinalfa = Sqr((h / 2) ^ 2 - (h / 2 - afibras) ^ 2)
/ h * 2
cosalfa = Abs(h / 2 - afibras) / h * 2
If afibras < h / 2 Then
Cc = 0.85 * fc * (h / 2) ^ 2 * (alfa - sinalfa *
cosalfa)
Else
Cc = 0.85 * fc * ((pi / 4 * h ^ 2) - (h / 2) ^ 2 *
(alfa - sinalfa * cosalfa))
End If

```

```

End If
For i = 1 To ncapas + 1
Esi(i) = Ecs * (di(i) / cfibras - 1)
If Abs(Esi(i)) < (fy / 2040000#) Then
fsi(i) = 2040000# * Esi(i)
Else
fsi(i) = fy * Sgn(Esi(i))
End If
Psi(i) = Asi(i) * fsi(i)
Next i
For i = 1 To ncapas + 1
If Psi(i) >= 0 Then
'Las fuerzas en el acero ya tienen el signo
adecuado
TENSION = TENSION + Psi(i)
Else
COMPRESION = COMPRESION + Psi(i)
End If
Next i
COMPRESION = COMPRESION - Cc
'phiPN
axial(k) = (Abs(COMPRESION) -
TENSION) / 1000 * ficol
If axial(k) < 0 Then
axial(k) = 0
End If
'Contribución del acero de refuerzo
For i = 1 To ncapas
MN = MN - Psi(i) * (Xplastico - di(i))
Next i
'Centroide del área en compresión usando
withney
If CIRCBANDERA = 0 Then
Yc = afibras / 2
Else
If afibras < h / 2 Then
Yc = h / 2 - (2 * h / 2 / 3 * (sinalfa ^ 3 / (alfa -
sinalfa * cosalfa)))
Else
Yc = (pi * h ^ 3 / 8 - (h / 2) ^ 2 * (alfa -
sinalfa * cosalfa) * (h / 2 + 2 * h / 2 / 3 *
(sinalfa ^ 3 / (alfa - sinalfa * cosalfa)))) / (pi *
h ^ 2 / 4 - (h / 2) ^ 2 * (alfa - sinalfa *
cosalfa))
End If
End If
'phiMn
MOMENTO(k) = (MN + Cc * (Xplastico -
Yc)) / 100000 * ficol
cfibras = cfibras - h / npuntos
Next k

```

```
'Cálculo de Po
For i = 1 To ncapas
axial(0) = axial(0) + Asi(i) * fy
Next i
If CIRC BANDERA = 0 Then
axial(0) = (axial(0) + 0.85 * fc * b * h) / 1000
* ficol
MOMENTO(0) = 0
Else
axial(0) = (axial(0) + 0.85 * fc * pi / 4 * h ^
2) / 1000 * ficol
MOMENTO(0) = 0
End If
'Correccion del diagrama, cuando se
comporta como viga
If CIRC ANDERA = 0 Then
Pmin = 0.1 * fc * b * h / 1000
Else
Pmin = 0.1 * fc * pi / 4 * h ^ 2 / 1000
End If
For i = 1 To npuntos
If axial(i) < Pmin Then
MOMENTO(i) = MOMENTO(i) / ficol *
(0.9 - 0.2 / Pmin * axial(i))
axial(i) = axial(i) / ficol * (0.9 - 0.2 / Pmin *
axial(i))
End If
Next i
'Corrección del diagrama, 0.8fPo
For i = 1 To 5
If axial(i) < (0.8 * axial(0)) And axial(i - 1) >
(0.8 * axial(0)) Then
JJ = i
End If
Next i
pendiente = (axial(JJ) - axial(JJ - 1)) /
(MOMENTO(JJ) - MOMENTO(JJ - 1))
cruce1 = (0.8 * axial(0) - axial(JJ) +
pendiente * MOMENTO(JJ)) / pendiente
cruce1 = cruce1
End Sub
```

Centro de Información-Biblioteca



30002005827431