

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**DESARROLLO DE UN PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS
DE ESFUERZOS EN ELEMENTOS CURVOS
(GANCHO DE MALACATE)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD
EN INGENIERÍA MECÁNICA**

P R E S E N T A:

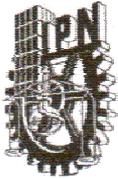
ING. JUAN PEDRO PACHECO MUÑOZ

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

M. EN C. GABRIEL VILLA Y RABASA

MÉXICO, D. F.

JUNIO, 2006



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 11:00 horas del día 18 del mes de Mayo del 2006 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de la E. S. I. M. E. para examinar la tesis de grado titulada:

“DESARROLLO DE UN PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN ELEMENTOS CURVOS (GANCHO DE MALACATE)”.

Presentada por el alumno:

PACHECO

Apellido paterno

MUÑOZ

materno

JUAN PEDRO

nombre(s)

Con registro:

B	0	4	0	9	8	6
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

MEN C. GABRIEL VILLA Y RABASA

DR. GUILLERMO URRIOLAGOITIA CALDERÓN

DR. LUIS HÉCTOR HERNÁNDEZ GÓMEZ

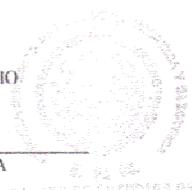
DR. SAMUEL ALCANTARA MONTES

DR. JOSÉ MARTÍNEZ TRINIDAD

DR. IVÁN ENRIQUE CAMPOS SILVA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. JAIME ROBLES GARCÍA





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la ciudad de México, Distrito Federal, el día 30 del mes de Mayo del año 2006, el que suscribe Juan Pedro Pacheco Muñoz alumno del programa de Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Mecánica con número de registro B040983, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Unidad Adolfo López Mateos, manifiesta que es autor intelectual del presente Trabajo de Tesis bajo la dirección del M. en C. Gabriel Villa y Rabasa y cede los derechos del trabajo intitulado: Desarrollo de un Programa para el Análisis de Esfuerzos en Elementos Curvos (Gancho de Malacate), al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: jppmcm1@hotmail.com

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Juan Pedro Pacheco Muñoz

Nombre y firma

No basta estar a la vanguardia en una cosa,
hay que copar varios frentes.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
SIMBOLOGÍA	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
OBJETIVO	XIV
JUSTIFICACIÓN	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
REFERENCIAS.	XVIII
CAPÍTULO 1. PRINCIPIOS DE PROGRAMACIÓN EN VISUAL BASIC	2
1.1. ¿QUÉ ES VISUAL BASIC?	2
1.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES EN VISUAL BASIC.	2
1.3 CARACTERÍSTICAS DEL EDITOR DE VISUAL BASIC.	4
1.4 LENGUAJE VISUAL BASIC.	13
1.4.1 ESTRUCTURA DEL CÓDIGO FUENTE.	13
1.4.2 DECLARACIÓN DE VARIABLES.	16
1.4.3 INSTRUCCIONES PARA CONTROLAR EL FLUJO DEL PROGRAMA.	18
1.4.3.1 Instrucciones condicionales.	18
1.4.3.2 Instrucciones para realizar procesos repetitivos (iteraciones).	20
1.4.4 PRINCIPALES FUNCIONES DE CADENAS.	22
1.4.5 FUNCIONES MATEMÁTICAS.	24
1.4.6 OPERADORES ARITMÉTICOS.	24
1.4.7 OPERADORES RELACIONALES.	24
1.4.8 ARREGLOS MATRICIALES.	25
1.4.9 MANEJO DE COMENTARIOS DENTRO DE UN PROGRAMA.	26

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	27
REFERENCIAS.	27
CAPÍTULO 2. TEORÍA DE VIGAS CURVAS	
2.1 EL FENÓMENO DE LA FLEXIÓN.	29
2.2 ECUACIONES PARA FLEXIÓN EN VIGAS CURVAS.	30
2.2.1 ESFUERZO NORMAL CIRCUNFERENCIAL.	30
2.2.1.1 Ecuaciones de U para diferentes tipos de sección.	36
2.2.2 ESFUERZO NORMAL RADIAL.	44
SUMARIO.	46
REFERENCIAS.	46
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROGRAMA	
3.1 ALCANCES.	48
3.1.1 FUNCIÓN.	48
3.1.2 TIPOS DE SECCIONES INCLUIDAS.	48
3.1.3 ECUACIONES.	49
3.1.4 TIPOS DE VIGAS.	49
3.1.5 SISTEMAS DE UNIDADES.	51
3.2 ESTRUCTURACIÓN.	51
3.2.1 DESARROLLO DE LA INTERFASE GRÁFICA.	52
3.2.1.1 Tipos de vigas.	52
3.2.1.2 Tipo de sección.	53
3.2.1.3 Evaluación de esfuerzos en r .	54
3.2.1.4 Controles para mostrar resultados.	55
3.2.1.5 Botón Borrar.	57
3.2.1.6 Menú de la aplicación.	57
3.2.1.7 Asignación de los valores contenidos en las TextBoxes a variables.	59
3.2.2 DESARROLLO DEL CÓDIGO ENFOCADO A CÁLCULOS.	60
3.2.2.1 Cálculo de los radios r_2 , \check{r} , el área A y la integral U .	60
3.2.2.2 Cálculo del momento M_x .	65
3.2.2.3 Cálculo del esfuerzo circunferencial.	65
3.2.2.4 Cálculo del radio de curvatura y la excentricidad.	67

3.2.2.5 Cálculo del área parcial A' y de la integral U' .	67
3.2.2.6 Cálculo del esfuerzo radial.	69
REFERENCIAS.	70
<u>CAPÍTULO 4. VERIFICACIÓN DEL PROGRAMA</u>	<u>72</u>
4.1 VERIFICACIÓN CON PRUEBAS DE ESCRITORIO.	72
4.1.1 PRUEBAS DE ESCRITORIO.	72
4.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS CON VCURVA.	74
4.1.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS.	87
4.2 VERIFICACIÓN INDIRECTA.	88
4.2.1 RESULTADOS OBTENIDOS CON VCURVA.	88
4.2.2 VALIDACIÓN CON EL MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO (MEF).	88
4.2.3 VALIDACIÓN CON LA TEORÍA DE LA ELASTICIDAD.	91
4.2.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS.	92
REFERENCIAS.	93
<u>CONCLUSIONES</u>	<u>94</u>
<u>RECOMENDACIONES PARA TRABAJO FUTURO</u>	<u>97</u>
<u>APÉNDICE</u>	<u>98</u>
<u>GLOSARIO</u>	<u>115</u>
TÉRMINOS DE COMPUTACIÓN.	115
TÉRMINOS DE MECÁNICA DE MATERIALES.	120
REFERENCIAS.	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1.	Editor de Visual BASIC 6.0.	4
Fig. 1.2.	Menú.	4
Fig. 1.3.	Barra de herramientas Estándar .	6
Fig. 1.4.	Cuadro de controles.	6
Fig. 1.5.	Explorador de proyectos.	8
Fig. 1.6.	Posición del formulario.	8
Fig. 1.7.	Ventana de propiedades.	9
Fig. 1.8.	Ventana de formularios.	12
Fig. 1.9.	Objetos que tienen el foco.	14
Fig. 1.10.	Acceso a códigos de eventos.	15
Fig. 2.1.	Flexión en elementos rectos y curvos.	29
Fig. 2.2.	Obtención del momento flexionante interno.	30
Fig. 2.3.	Definición de radios.	31
Fig. 2.4.	a) Sistema de cargas. b) Diagrama de cuerpo libre del segmento.	32
Fig. 2.5.	Deformación del segmento.	33
Fig. 2.6.	Sección rectangular.	36
Fig. 2.7.	a) Sección triangular. b) Funciones del triángulo.	37
Fig. 2.8.	a) Sección circular. b) Funciones que acotan a la sección.	39
Fig. 2.9.		40
Fig. 2.10.	a) Viga cargada. b) Sección transversal. c) Elemento diferencial.	44
Fig. 2.11.	Valores de U y de A' . a) Sección rectangular. b) Sección I.	45
Fig. 3.1.	Sección "compuesta gancho"	48
Fig. 3.2.	Ecuación de M_x para el gancho de malacate.	50
Fig. 3.3.	Ecuación de M_x para la viga genérica.	50
Fig. 3.4.	Disposición de controles para elegir el tipo de viga.	52
Fig. 3.5.		53
Fig. 3.6.	Imágenes mostradas en los controles Image.	54
Fig. 3.7.		55
Fig. 3.8.		56
Fig. 3.9.	Botón Borrar.	57
Fig. 3.10.	Menú de la aplicación.	57
Fig. 3.11.	Disposición de controles en el formulario Acerca.	58
Fig. 3.12.	Intervalos posibles en una sección "T".	67
Fig. 4.1.	Sección rectangular, prueba 1.	75
Fig. 4.2.	Sección rectangular, prueba 2.	75
Fig. 4.3.	Sección triangular, prueba 3.	76
Fig. 4.4.	Sección triangular, prueba 4.	76
Fig. 4.5.	Sección circular, prueba 5.	77
Fig. 4.6.	Sección circular, prueba 6.	77
Fig. 4.7.	Sección elipsoidal, prueba 7.	78
Fig. 4.8.	Sección elipsoidal, prueba 8.	78
Fig. 4.9.	Sección trapezoidal, prueba 9.	79

Fig. 4.10. Sección trapezoidal, prueba 10.	79
Fig. 4.11. Sección "T", prueba 11.	80
Fig. 4.12. Sección "T", prueba 12.	80
Fig. 4.13. Sección "I", prueba 13.	81
Fig. 4.14. Sección "I", prueba 14.	81
Fig. 4.15. Sección tubular rectangular, prueba 15.	82
Fig. 4.16. Sección tubular rectangular, prueba 16.	82
Fig. 4.17. Sección tubular circular, prueba 17.	83
Fig. 4.18. Sección tubular circular, prueba 18.	83
Fig. 4.19. Sección tubular elipsoidal, prueba 19.	84
Fig. 4.20. Sección tubular elipsoidal, prueba 20.	84
Fig. 4.21. Sección compuesta gancho, prueba 21.	85
Fig. 4.22. Sección compuesta gancho, prueba 22.	85
Fig. 4.23. Prueba 23.	86
Fig. 4.24. Prueba 24.	86
Fig. 4.25. Prueba 25.	87
Fig. 4.26. Valores obtenidos con VCURVA.	88
Fig. 4.27. Valores del esfuerzo circunferencial obtenidos con ANSYS.	89
Fig. 4.28. Valores del esfuerzo radial.	89
Fig. 4.29. Valores del esfuerzo principal 1.	90
Fig. 4.30. Valores absolutos de esfuerzo.	90
Fig. G1. Computadora.	115
Fig. G2. Algunos objetos pertenecientes a la interfase gráfica.	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Principales propiedades de controles.	10
Tabla 1.2. Principales eventos de objetos.	13
Tabla 1.3. Tipos de variables en Visual BASIC.	16
Tabla 2.1. Valores de $U = \int \frac{dA}{r}$ para diferentes tipos de secciones.	41
Tabla 4.1. Datos y resultados obtenidos del cálculo manual.	72
Tabla 4.2. Resultados obtenidos y su comparación.	87

SIMBOLOGÍA

r	Radio que localiza a la fibra donde será evaluado el esfuerzo.
R	Radio que localiza la posición del eje neutro.
\bar{r}, \bar{r}	Radio centroidal. Ubica al eje centroidal.
P	Fuerza (interna) de tensión.
V	Fuerza cortante.
M_x	Momento flexionante alrededor del eje x.
σ_θ	Esfuerzo normal circunferencial.
$d\theta$	Diferencial de ángulo. Está relacionada con la curvatura de una viga.
dA	Diferencial de área.
$\delta\theta$	Variación de $d\theta$ debida a la acción del momento flexionante.
K	Constante. $K = \delta\theta / d\theta$.
ε	Deformación unitaria.
E	Módulo de elasticidad en tracción.
U	Integral de área. $U = \int dA / r$.
A	Área total de la sección transversal.
y	Distancia del eje neutro a la fibra donde se evalúa el esfuerzo.
I_x	Momento de inercia respecto al eje x.
$r_1, r1$	Radio medido del centro de curvatura a la fibra interior de la sección.
$r_2, r2$	Radio medido del centro de curvatura a la fibra exterior de la sección.
b	Base, dimensión de sección transversal.
h	Altura, dimensión de sección transversal.
c	Radio, dimensión de sección circular.
θ	Ángulo de viga curva. Dimensión angular de sección transversal.
a	Altura en sección elíptica y semielíptica.
T	Fuerza interna de tensión.
t	Espesor de la sección transversal.
σ_r	Esfuerzo radial.
U'	Integral del área sombreada. $U' = \int_{r_1}^r dA / r$.
A'	Área sombreada de la sección transversal. $A' = \int_{r_1}^r dA$.

RESUMEN

El presente trabajo muestra el desarrollo de un programa cuyo objetivo es calcular esfuerzos normales circunferenciales y radiales en viga curvas, cuando estas se encuentran sometidas a flexión pura ó flexión combinada con carga axial. Las ecuaciones utilizadas en el programa han sido tomadas de la teoría de vigas curvas, tema avanzado de mecánica de materiales.

El trabajo también incluye unos apuntes de programación en Visual BASIC, lenguaje en que ha sido escrito el programa; además de unas notas referentes a la teoría de vigas curvas, ambos desarrollados por el autor.

ABSTRACT

The present work shows the development in a program whose objective is to calculate circumferential and radial normal stresses in curved beams, when these they are subjected to pure flexion or flexion combined with axial load. The equations used in the program have been taken of the curved beam theory, an advanced topic of mechanics of materials.

The work also includes some programming notes in Visual BASIC, language in that the program has been written; besides some relating notes to the curved beam theory, both developed by the author.

OBJETIVO

Hacer una revisión de la teoría de vigas curvas, que incluya la minuciosa obtención de las ecuaciones de esfuerzo y de otras relacionadas con estas. Con las ecuaciones obtenidas, desarrollar un programa de computadora que calcule esfuerzos normales circunferenciales y radiales en elementos curvos sometidos a flexión simple ó flexión combinada con carga axial.

JUSTIFICACIÓN

Los textos utilizados en la enseñanza de la teoría de vigas curvas son muy variados en cuanto a su contenido y estilo de redacción, lo que ocasiona que un texto sea conveniente en unas cosas e inconveniente en otras. Por esta razón propongo desarrollar un compendio acerca del tema que tenga lo mejor de cada uno de los textos revisados por un servidor.

Aunado a esto, se encuentra que en los textos tradicionales los desarrollos matemáticos no se presentan en forma completa, lo que resta al alumno la posibilidad de aprender o reforzar sus conocimientos de forma autodidacta. Esta situación hace necesaria la creación de un texto que tenga principalmente dos características: Rigor y detalle.

El desarrollo del programa también se considera necesario, ya que las ecuaciones pertenecientes a la teoría vigas curvas tienen varios términos que se encuentran dispuestos de forma compleja, lo cual hace tardado el cálculo de esfuerzos manualmente.

El programa ayudará en los siguientes aspectos:

Enseñanza: Al aumentar la velocidad en los cálculos, el tiempo dedicado al aprendizaje de este tema se centra en la correcta comprensión de los conceptos.

Análisis: Al llevarse a cabo los cálculos de forma rápida, queda tiempo suficiente para comparar de esta teoría con otras teorías o métodos.

Diseño: Es posible determinar las dimensiones mínimas de la sección transversal en una viga curva por el método de prueba y error. El programa hará posible el uso de este método en un tiempo razonablemente corto.

Es importante mencionar también que el presente trabajo ha sido realizado en el proyecto de investigación “Instrumentación y análisis de esfuerzos en componentes biocompatibles y orgánicos”, clave CGPI-2006 0595, dirigido por el M. en C. Gabriel Villa y Rabasa.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el hombre ha desarrollado objetos como son herramientas, máquinas y construcciones entre otros, con la finalidad de ayudarse a satisfacer sus necesidades.

En un principio los objetos eran diseñados empíricamente, lo que ocasionaba que muchas veces estos fallaran al estar sometidos a condiciones más exigentes de las que su resistencia podía ofrecer.

Pero, ¿Cómo saber si un objeto resistiría bajo ciertas condiciones de carga? Esta duda fue despejada en los siglos XVII y XVIII, tiempo en el cual se originó y desarrolló la Mecánica de Materiales, ciencia que estudia las relaciones entre las cargas externas aplicadas a un cuerpo deformable y las fuerzas internas que actúan dentro del cuerpo, las deformaciones generadas en el mismo, y la estabilidad del cuerpo cuando se encuentra sometido a fuerzas externas [1].

El diseño de elementos mecánicos basado en la Mecánica de materiales depende básicamente de tres factores:

1. Carga aplicada.
2. Forma del elemento.
3. Resistencia del material a emplear.

La intensidad de la carga aplicada tiene influencia directa en el funcionamiento de un elemento mecánico. Cuanto mayor sea la carga es menos probable que el elemento la resista.

La forma del elemento también influye en su funcionamiento. Los elementos más simples en cuanto a su forma se refiere son los elementos rectos y los elementos curvos, de los cuales son estos últimos los que nos interesan para el presente estudio.

La combinación de los dos primeros factores da como consecuencia el fenómeno que experimenta el elemento. Los fenómenos que un elemento o cuerpo cargado puede

experimentar son: Tensión, compresión, corte, torsión y flexión; siendo este último el estudiado en el presente trabajo. Cada fenómeno tiene una ecuación que sirve para evaluar una cantidad hasta ahora no definida: El esfuerzo. Esta cantidad es la fracción de la fuerza interna (por unidad de área) generada en un punto de un cuerpo cuando este último se encuentra bajo la acción de una carga.

La resistencia de un material es una propiedad inherente a él, esto es, no depende de la carga o de la forma del elemento. Cuanto mayor sea la resistencia, podremos aplicar mayores cargas sin que el elemento falle.

El esfuerzo y la resistencia tienen las mismas unidades. Una vez que el esfuerzo es calculado, su valor se compara con el de la resistencia. Si el valor del esfuerzo es menor el elemento no falla.

El cálculo de esfuerzos elementos curvos sometidos a flexión hecho de forma manual resulta laborioso y tardado debido a la complejidad de sus ecuaciones. Mediante el uso de un programa como el propuesto en este trabajo el tiempo de cálculo puede reducirse considerablemente.

Este trabajo consta de cuatro capítulos:

Capítulo 1. Incluye definiciones, instrucciones, y ejemplos de programación del lenguaje Visual BASIC. Está dispuesto a manera de apuntes.

Capítulo 2. En él se desarrolla la teoría de vigas curvas. Incluye definiciones y ecuaciones. También está dispuesto a manera de apuntes.

Capítulo 3. Muestra el desarrollo del programa propuesto. Es el propio trabajo de tesis. Incluye la metodología de desarrollo en forma de ejemplo.

Capítulo 4. Trata acerca de la del programa. Es el resultado final del proceso de depuración y optimización.

Finalmente quiero agradecer a las personas que colaboraron en hacer realidad este trabajo de tesis:

M. en C. Gabriel Villa y Rabasa	Director de Tesis
Dr. Guillermo Urriolagoitia Calderón	Sinodal
Dr. Luís Héctor Hernández Gómez	Sinodal
Dr. Samuel Alcántara Montes	Sinodal
Dr. José Martínez Trinidad	Sinodal
Dr. Iván Enrique Campos Silva	Sinodal

En especial agradezco a mi madre, por permitirme conocer el mundo.

Juan Pedro Pacheco Muñoz

REFERENCIAS.

[1] MECÁNICA DE MATERIALES

Russell Charles Hibbeler. Ed. Prentice Hall. México, tercera edición.

Capítulo 1

PRINCIPIOS DE PROGRAMACIÓN
EN VISUAL BASIC

Capítulo 1

PRINCIPIOS DE PROGRAMACIÓN EN VISUAL BASIC

El objetivo de este capítulo es introducir al lector en la terminología, forma de programación, y características del editor de Visual BASIC, ya que este es el lenguaje en el que será desarrollado programa propuesto. Una vez leído este capítulo, el lector será capaz de comprender todo lo referente a programación contenido en el capítulo 3 (Desarrollo del programa).

Al final del capítulo se presenta el planteamiento del problema.

1.1. ¿QUÉ ES VISUAL BASIC?

Visual BASIC es un ambiente gráfico de desarrollo de aplicaciones para el sistema operativo Microsoft Windows. VISUAL BASIC cuenta con *objetos* gráficos como los mostrados en la figura G2 del glosario. A estos objetos les ocurren *eventos*, producto de acciones llevadas a cabo por el usuario. Visual BASIC se deriva del lenguaje BASIC, el cual es un lenguaje de programación estructurado [1].

¿Por qué utilizar Visual BASIC?

Es un lenguaje que permite desarrollar aplicaciones propias del ambiente Windows con gran facilidad.

En el caso de programas que hacen cálculos, el tener la facilidad de regresar a introducir un valor a voluntad, es una ventaja muy apreciada por los usuarios, esto se consigue mediante el uso de Visual BASIC.

1.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES EN VISUAL BASIC.

Objeto. Es una entidad que tiene asociado un conjunto de métodos, eventos y propiedades. Hay muchas clases de objetos, y por tanto, puede llegar a haber tantos métodos, eventos y propiedades distintas como objetos diferentes. Existen objetos que

tienen representación gráfica en el entorno de desarrollo de Visual BASIC (ver Fig. G2) y otros que no la tienen, tal como lo es un objeto base de datos (database).

Evento. Es algo que le puede ocurrir a un objeto. En una interfase gráfica, lo que le puede ocurrir a un objeto es que se le haga click, doble click, que se pase el cursor del ratón por encima, etc. Este es el *Evento*.

Método. Los métodos son funciones internas de un determinado objeto que permite realizar funciones sobre él o sobre otro objeto.

Ejemplo: Se desea poner en la ventana Windows de una aplicación "Hola mundo", por tanto pondremos el método -> `Form1.Print "Hola mundo"`

Formulario. Un formulario es una ventana. Este es el caso de la ventana Windows de cualquier aplicación. Se puede tener tantas ventanas en una aplicación o proyecto como se quiera, siempre y cuando los nombres de estas sean distintos. Por defecto la ventana que se abre en Visual BASIC tiene el nombre de Form1 [2]. El nombre del formulario o ventana se cambia en la barra de propiedades (Fig. 1.9).

Cada formulario tiene un apartado para escribir código asociado a él. La programación de un formulario puede hacerse escribiendo código únicamente en su apartado, ó bien puede auxiliarse de uno o más módulos.

Módulo. Un módulo es un archivo de Visual BASIC donde se escribe parte del código de un programa. El módulo no tiene representación gráfica en Visual BASIC.

Proyecto. Es el conjunto de formularios y módulos de los que se compone una aplicación.

Propiedades. Son los datos que hacen referencia a un objeto o formulario, tales como el color de fondo del formulario, el tipo de fuente de un cuadro de texto, etc.

Controles. Son objetos con representación gráfica que se insertan dentro de un formulario y tienen funciones específicas (Ver Fig. G2 y *cuadro de herramientas*).

Procedimiento. Es el código asociado a los eventos (click, doble click, una tecla pulsada, etc.), que ocurren a los objetos. También se puede tener procedimientos que no estén relacionados con ningún evento ocurrido al formulario o a sus controles. Esto se consigue entrando al menú *herramientas - agregar procedimiento* del editor de Visual BASIC, e insertando el procedimiento.

1.3 CARACTERÍSTICAS DEL EDITOR DE VISUAL BASIC.

El editor de Visual BASIC 6.0 se compone de una ventana principal, un menú, varias barras de herramientas y cinco ventanas secundarias:

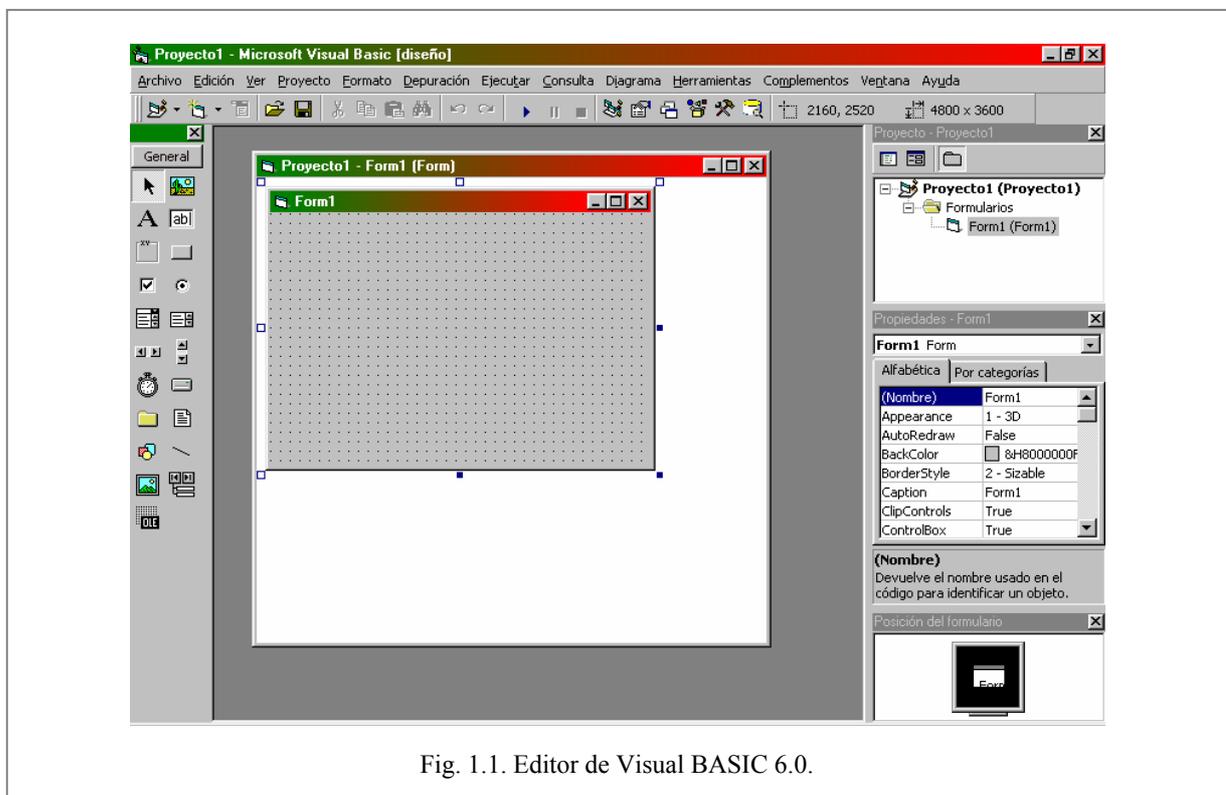


Fig. 1.1. Editor de Visual BASIC 6.0.

La función de la ventana principal es contener al menú y a las barras del editor.

Menú.

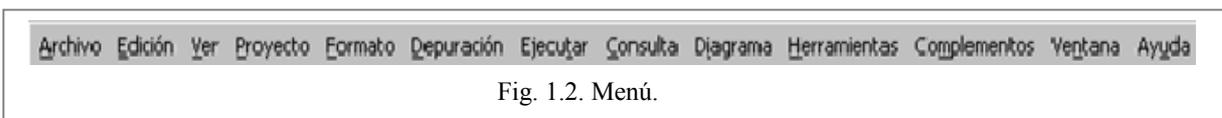


Fig. 1.2. Menú.

El menú (Fig. 1.2) tiene opciones que facilitan la tarea del programador. Entre las más utilizadas se encuentran:

Archivo → Nuevo proyecto	Crea un archivo nuevo
Archivo → Abrir proyecto	Carga un archivo (programa) existente
Archivo → Guardar proyecto	Guarda el archivo en uso
Archivo → Guardar proyecto como	Guarda el archivo en uso con otro nombre
Archivo → Imprimir	
Archivo → Generar [Nombre del archivo].EXE	Crea la versión ejecutable del programa
Edición → Cortar	
Edición → Copiar	
Edición → Pegar	
Edición → Seleccionar todo	
Ver → Código	Muestra la ventana de código
Ver → Objeto	Muestra el formulario con el que se está trabajando
Ver → Explorador de proyectos	Muestra la ventana de archivos empleados
Ver → Ventana propiedades	Muestra la ventana de propiedades
Ver → Ventana posición del formulario	Muestra la ventana de posición del formulario
Ver → Cuadro de herramientas	Muestra el cuadro de herramientas (controles)
Ver → Barras de herramientas	Muestra diversas barras de herramientas
Proyecto → Agregar formulario	Agrega varios tipos de formulario
Proyecto → Agregar formulario MDI	
Proyecto → Agregar Módulo	
Proyecto → Agregar Página de propiedades	
Proyecto → Quitar [Nombre del proyecto]	Cierra el proyecto en uso
Depuración → Paso a paso por instrucciones	
Depuración → Paso a paso por procedimientos	
Ejecutar → Iniciar	
Ejecutar → Iniciar una compilación completa	

Ejecutar → Interrumpir

Ejecutar → Terminar

Herramientas → Agregar procedimiento

Añade un procedimiento, función, etc.

Herramientas → Editor de menús

Muestra el editor de menús

Herramientas → Opciones

Despliega la ventana de opciones

Barra de herramientas **Estándar**.

Esta barra aparece normalmente al cargar el editor de Visual BASIC 6.0. Contiene algunas de las opciones del menú. Para ver de qué se trata cada una basta con dejar el puntero del ratón sobre el botón de la opción, entonces aparecerá un letrero con el nombre de la opción.



Fig. 1.3. Barra de herramientas **Estándar**.

Cuadro de herramientas (controles).

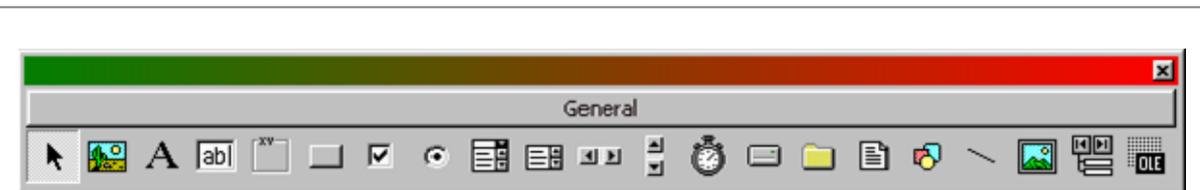


Fig. 1.4. Cuadro de controles.

De este cuadro de herramientas pueden tomarse los controles necesarios para desarrollar una aplicación. Los controles mínimos para desarrollar una aplicación orientada a cálculo de variables son:



PictureBox. Muestra una imagen definida durante la programación.



Label. Es un cuadro donde se puede desplegar texto. Se utiliza para presentar nombres de datos ó resultados que no requieran ser copiados.



TextBox. Es un cuadro donde puede introducirse texto. Se utiliza para tomar datos.



ComboBox. Es un seleccionador de opciones. Ajustando sus propiedades también puede utilizarse para tomar datos o mostrar resultados.



Frame. En este recuadro se pueden agrupar y mover varios controles. Es utilizado para contener grupos de *OptionButtons*.



CommandButton. Es un botón que se presiona dando click sobre él. Sirve para ejecutar un bloque de instrucciones una vez que se le da click.



CheckBox. Es una casilla de verificación. Sirve para indicar condiciones opcionales en la ejecución del programa.



OptionButton. Normalmente se utilizan dos o más de estos agrupados dentro de un *Frame*. Se utiliza en casos en que solo puede escogerse una opción entre varias.



Timer. Este temporizador suspende la ejecución de un programa durante el tiempo (medido en milisegundos) especificado en su propiedad *Interval*.



Shape. Es una línea cerrada que puede tener forma de rectángulo, cuadrado, circunferencia, elipse, rectángulo con esquinas redondeadas, y cuadrado con esquinas redondeadas. Se utiliza con fines estéticos.



Line. Es una línea recta sólida ó punteada. También se utiliza con fines estéticos.



Image. Es similar a *PictureBox*, pero ocupa menos memoria y tiene menos propiedades.

Explorador de proyectos.

Esta ventana sirve para ver los proyectos, formularios y módulos con los que se está trabajando.

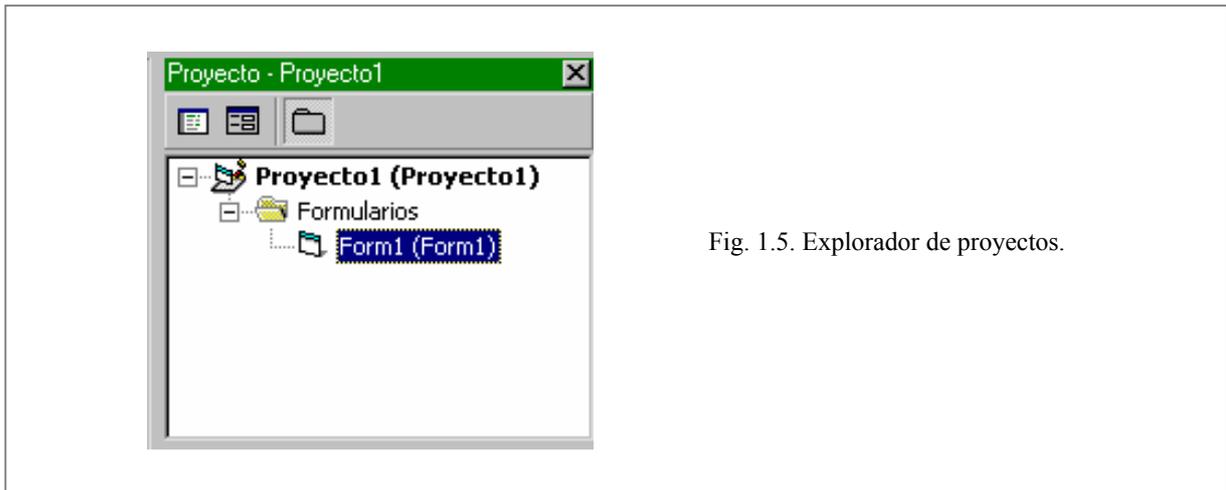


Fig. 1.5. Explorador de proyectos.

Posición del formulario.

Muestra la posición en que será desplegado el formulario en la pantalla del monitor.

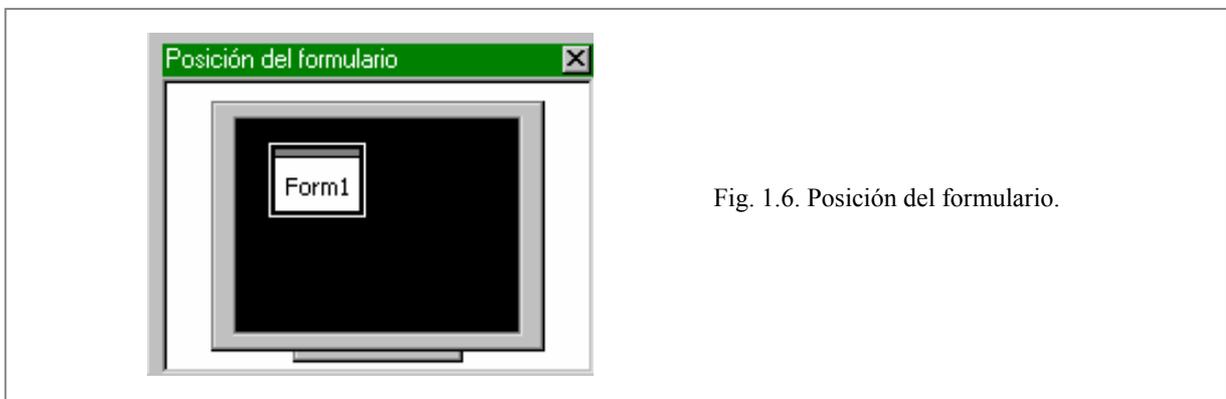


Fig. 1.6. Posición del formulario.

Ventana de propiedades.

Muestra las propiedades del objeto seleccionado. Cada objeto tiene distintas propiedades, mismas que pueden ser modificadas por medio de esta ventana.

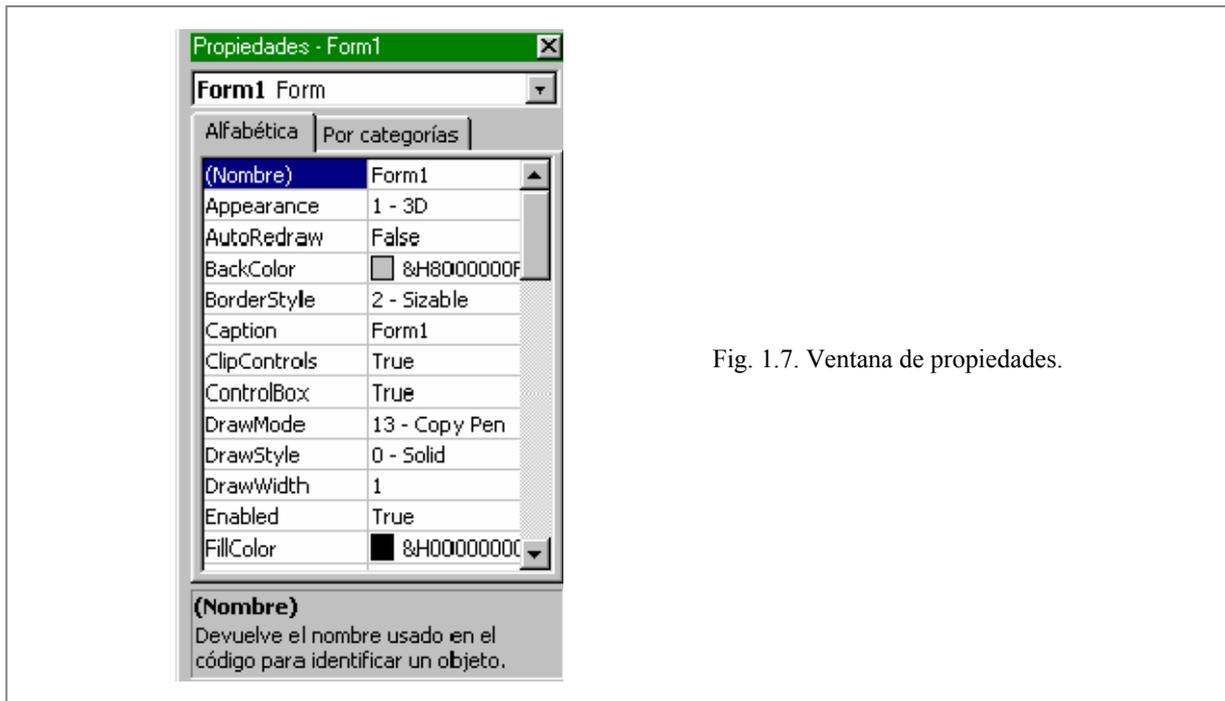


Fig. 1.7. Ventana de propiedades.

La ventana de propiedades tiene dos columnas. En la primera aparecen los nombres de las propiedades y en la segunda los valores que estas pueden tomar. En general existen dos tipos de valores:

1. Valor libre. Existen dos tipos de valor libre, el primero puede contener letras o números como en las propiedades Caption, Text, etc., y el segundo es solamente numérico (propiedades Top, Height, etc.).
2. Opciones. En este caso se escoge uno de los valores que tiene predefinida la propiedad. P. E. BorderStyle, Enabled, Locked, Etc.

La modificación de propiedades se hace dando click en la segunda columna, ya sea introduciendo el nuevo valor ó escogiendo uno de los valores posibles. Las propiedades también pueden modificarse mediante el código fuente. Esto será visto posteriormente.

Las principales propiedades de los controles mencionados en *Cuadro de herramientas* son las siguientes:

Tabla 1.1. Principales propiedades de controles [2], [3].

Propiedad	Descripción	Controles que la tienen
(Nombre)	Nombre usado en el código para identificar un objeto.	Formulario, PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Timer, Shape, Line, Image.
BackColor	Color de fondo usado para mostrar texto y gráficos en un objeto.	Formulario, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Shape, Image.
BorderStyle	Estilo del borde de un objeto.	Formulario, Label, TextBox, ComboBox, Frame, Shape, Line, Image.
Cancel	Indica si un CommandButton es el botón cancelar de un formulario.	CommandButton.
Caption	Texto mostrado en la barra de título o bajo el icono de un objeto.	Formulario, Label, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Image.
Enabled	Valor que determina si un objeto puede responder a eventos generados por el usuario.	Formulario, PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Timer, Image.
Font	Tipo de letra desplegada en un objeto.	Formulario, PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton.
Height	Altura del objeto (normalmente medida en píxeles).	Formulario, PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Shape, Image.
Icon	Icono mostrado cuando se minimiza un formulario en tiempo de ejecución.	Formulario.
Interval	Número de milisegundos entre dos llamadas al evento Timer de un control Timer.	Timer.
Left	Distancia entre el borde izquierdo interno de un objeto y el borde izquierdo de su contenedor.	Formulario, PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Timer, Shape, Image.
Locked	Determina si se puede modificar un control. Por ejemplo, no se puede escribir en una TextBox si Locked tiene el valor True.	TextBox, ComboBox.
MaxButton	Determina si el formulario tiene el botón de maximizar.	Formulario.

Tabla 1.1. Principales propiedades de controles (continuación) [2], [3].

Propiedad	Descripción	Controles que la tienen
MDIChild	Valor que determina si un formulario se muestra como MDI secundario. MDI = Multiple Document Interface.	Formulario, PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Timer, Shape, Line, Image.
MinButton	Determina si un formulario tiene un botón Minimizar.	Formulario.
Picture	Gráfico mostrado en un control.	Formulario, PictureBox, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Image.
Shape	Valor que indica la apariencia de un control Shape. Puede tomar los valores de 0 (rectángulo), 1 (cuadrado), 2 (óvalo), 3 (círculo), 4 (rectángulo con esquinas redondeadas), 5 (cuadrado con esquinas redondeadas).	Shape.
Stretch	Valor que determina si un gráfico cambia su tamaño para ajustarse al tamaño de un control Image.	Image.
Style	Valor que determina el tipo de control y el comportamiento de su parte de cuadro de lista. Esta propiedad es útil para hacer que un ComboBox se comporte como una Textbox con la ventaja de tener selección automática de texto cada que obtiene el foco.	ComboBox, CommandButton, CheckBox, OptionButton.
TabIndex	Orden de tabulación de un objeto en su formulario primario. Durante la ejecución de una aplicación, al presionar la tecla TAB, se puede acceder a uno u otro control. El orden de acceso está determinado por TabIndex.	PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton.
TabStop	Valor que indica si el usuario puede usar la tecla TAB para pasar el foco (acceder) a otro objeto.	PictureBox, TextBox, ComboBox, CommandButton, CheckBox, OptionButton.
ToolTipText	Texto mostrado cuando se sitúa el puntero sobre un control.	PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Image.

Tabla 1.1. Principales propiedades de controles (continuación) [2], [3].

Propiedad	Descripción	Controles que la tienen
Top	Distancia entre el borde superior interno de un objeto y el borde superior de su contenedor.	Formulario, PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Timer, Shape, Image.
Value	Valor de un objeto. En una CheckBox puede ser 1 (unchecked), 2 (Checked), 3 (grayed). En un OptionButton adopta False (no marcado) ó True (marcado).	CheckBox, OptionButton.
Visible	Valor que determina si un objeto es visible o está oculto.	Formulario, PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Shape, Line, Image.
Width	Ancho del objeto.	Formulario, PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Shape, Image.
WindowState	Estado visual de la ventana de un formulario.	Formulario.
X1 y X2	Coordenadas horizontales inicial y final de un control Line.	Line.
Y1 y Y2	Coordenadas verticales inicial y final de un control Line.	Line.

Ventana de formularios.

En ella se ve el formulario con el que se trabaja. Tomando objetos gráficos del cuadro de controles, estos pueden ser insertados en el formulario mostrado por la ventana.

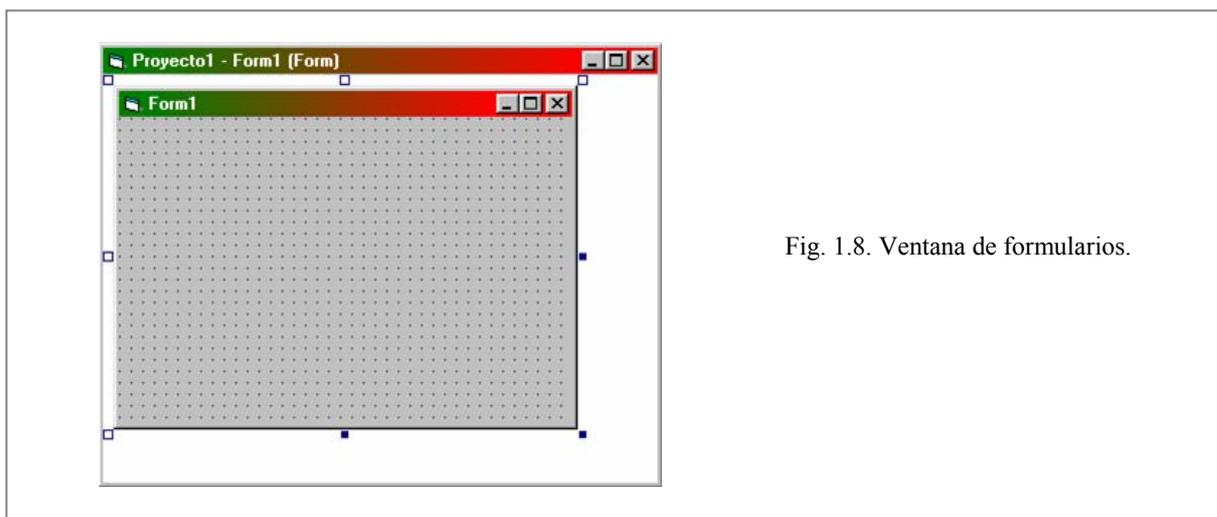


Fig. 1.8. Ventana de formularios.

1.4 LENGUAJE VISUAL BASIC.

1.4.1 Estructura del código fuente.

El código de Visual BASIC está dividido en apartados correspondientes a cada objeto. El grupo que forman el formulario y los controles contenidos en él tienen un apartado llamado (General) donde se hace la declaración de variables de tipo local (variables que actúan solo en dicho formulario). En un módulo se hace la declaración de variables de tipo global (actúan en todos los formularios que contiene la aplicación). En estos apartados pueden agregarse procedimientos y funciones, estos son apartados donde normalmente se programa una secuencia de instrucciones para ser llamados posteriormente desde un evento de un objeto o desde otro procedimiento o función.

Cada objeto gráfico de Visual BASIC cuenta con un apartado donde puede escribirse código referente a él. El apartado está dividido a su vez en secciones correspondientes a los eventos que pueden ocurrirle al objeto. Los principales eventos son los siguientes:

Tabla 1.2. Principales eventos de objetos [2].

Evento	Descripción	Objetos que lo tienen
Click	Ocurre cuando el usuario presiona y suelta un botón del mouse (ratón) en un objeto. También puede ocurrir cuando se cambia el valor de un control.	Form (Formulario), PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, CommandButton, CheckBox, OptionButton, Image.
Change	Indica que el contenido de un control ha cambiado. Cómo y cuándo ha ocurrido este evento varía según el control. Por ejemplo, cuando cambia el texto introducido en una TextBox o en un ComboBox con la propiedad Style establecida a 0 (Dropdown Combo) o 1 (Simple Combo).	PictureBox, Label, TextBox, ComboBox.
DblClick	Se produce cuando un usuario presiona y suelta un botón del mouse (ratón) dos veces sobre un objeto.	Form (Formulario), PictureBox, Label, TextBox, ComboBox, Frame, OptionButton, Image.
Dropdown	Ocurre cuando la parte de lista de un control ComboBox está a punto de desplegarse; este evento no ocurre si la propiedad Style de un control ComboBox está establecida a 1 (Simple Combo).	ComboBox.

Tabla 1.2. Principales eventos de objetos (continuación) [2].

GotFocus	Ocurre cuando un objeto recibe el foco*, ya sea mediante una acción del usuario, como presionar TAB o hacer click en el objeto. Un formulario recibe el foco sólo cuando todos los controles visibles están desactivados.	Form (Formulario), PictureBox, TextBox, ComboBox, CommandButton, CheckBox, OptionButton.
KeyDown	Ocurre cuando el usuario presiona (KeyDown) una tecla mientras un objeto tiene el foco.	Form (Formulario), PictureBox, TextBox, ComboBox, CommandButton, CheckBox, OptionButton.
Load	Ocurre cuando se carga un formulario.	Form.
LostFocus	Ocurre cuando un objeto pierde el foco, ya sea mediante una acción del usuario, como presionar TAB o hacer click en el objeto.	Form (Formulario), PictureBox, TextBox, ComboBox, CommandButton, CheckBox, OptionButton.
Timer	Ocurre cuando ha transcurrido un intervalo preestablecido para un control Timer. La frecuencia del intervalo se almacena en la propiedad Interval del control, que especifica el tiempo en milisegundos.	Timer.
Unload	Ocurre cuando un formulario está a punto de quitarse de la pantalla. Cuando ese formulario se vuelve a cargar, el contenido de todos sus controles se reinicia.	Form.

(*) Foco. El objeto que "tiene el foco" está indicado normalmente por un título o barra de título resaltados [3].



Fig. 1.9. Objetos que tienen el foco.

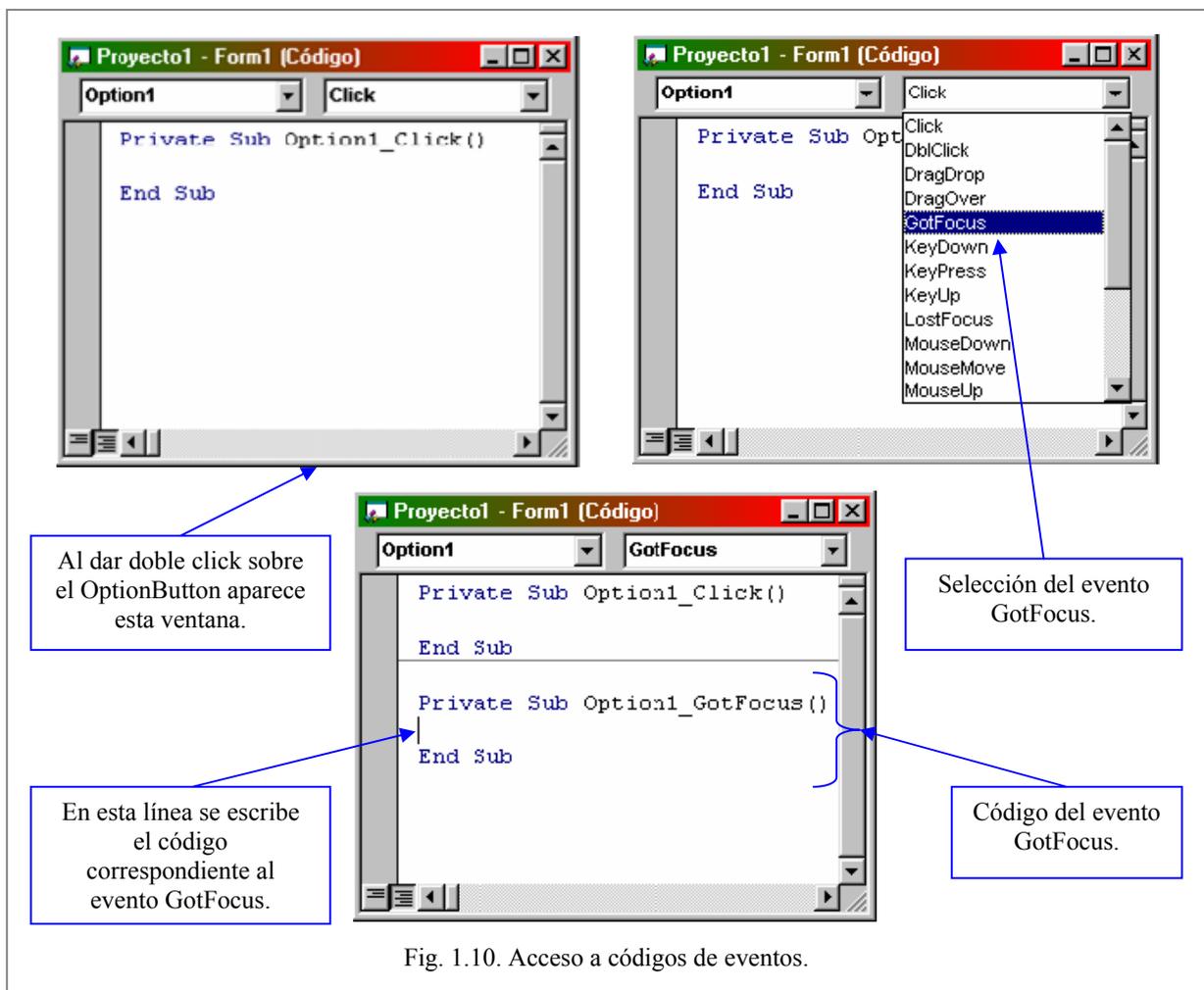
El acceso al apartado de un evento de un objeto se hace de la siguiente manera. Supóngase que se requiere entrar al evento GotFocus de un OptionButton. Primero hay que dar doble click sobre el OptionButton. Aparecerá la ventana de código. La ventana tiene dos ComboBoxes en la parte superior. En el primero puede escogerse el código del objeto que se desea ver. En el segundo se selecciona el evento correspondiente al

objeto elegido en el primer ComboBox. Del segundo ComboBox seleccione GotFocus. En la ventana de código se desplegará lo siguiente:

```
Private Sub Option1_GotFocus()

End Sub
```

Si se quiere introducir código referente a este evento, puede hacerse escribiendo en la línea (en blanco) que está entre las dos instrucciones. Para escribir más líneas bastará con dar <enter>.



En general, la programación del código se hace escribiendo las instrucciones dentro de uno o más apartados correspondientes a eventos, procedimientos o funciones.

1.4.2 Declaración de variables.

Visual BASIC permite trabajar con variables sin declarar (como en el BASIC ordinario). Sin embargo es mejor declarar las variables para evitar errores de programación. Consecuentemente, la instrucción *Option Explicit* se escribe al inicio del código de un formulario. Obliga a declarar previamente las variables que se vayan a usar. Las variables pueden ser de diferentes tipos, esto es, el tipo de dato que puede contener la variable. Los tipos de variables utilizados en Visual BASIC son:

Tabla 1.3. Tipos de variables en Visual BASIC [2].

Tipo de variable	Descripción	Memoria ocupada (bytes)
Integer	Números enteros en el rango de -32768 a 32767	2
Long	Números enteros en el rango de -2147483648 a 2147483647	4
Single	Punto flotante, simple precisión	4
Double	Punto flotante, doble precisión.	8
Currency	Entero, con punto decimal fijo (Típico de monedas)	8
String	Cadenas alfanuméricas de longitud variable o fija	1 por caracter
Byte	Números enteros, en el rango de 0 a 255	1
Boolean	Admite los valores 0 y 1, o True (verdadero) y False (falso)	2
Date	Fechas	8
Object	Referencia a objetos	4
Variant	Otros tipos de datos	16 + 1 por caracter

Observando la tabla 1.3 se concluye que es fundamental declarar el tipo de variable de tal forma que el gasto de memoria sea el mínimo posible.

Tipos de declaración de variables.

En un Procedimiento (La variable no puede usarse fuera de ese Procedimiento).

```
Dim Variable As Tipovariable
```

En un Procedimiento, como permanente (La variable no puede usarse fuera de este procedimiento, y dentro de él conserva el valor aunque se salga y se vuelva a entrar).

```
Static Variable As Tipovariable
```

En un Formulario (En su sección de declaraciones).

Como Privada (Solamente se puede usar en ese Formulario).

```
Dim Variable As Tipovariable ó
```

```
Private Variable As Tipovariable
```

Como Pública (Puede usarse en toda la aplicación)

```
Public Variable As Tipovariable
```

En un Módulo.

Como Privada (Solamente puede usarse en ese Módulo).

```
Dim Variable As Tipovariable ó
```

```
Private Variable As Tipovariable
```

Como Pública (Puede usarse en toda la aplicación).

```
Public Variable As Tipovariable ó
```

```
Global Variable As Tipovariable
```

Un ejemplo típico de declarar variables en Visual BASIC es el siguiente:

```
Option Explicit  
Dim NOMBRE As String  
Dim TELEFONO As String * 8  
Public CONSUMO As Single  
Global CTATOTAL As Double
```

Nótese que en la variable TELÉFONO se restringe el número de caracteres a ocho por medio de * 8 [1].

La declaración de variables también puede hacerse de la siguiente forma:

```
Option Explicit
Dim NOMBRE As String, TELEFONO As String * 8
Public CONSUMO As Single
Global CTATOTAL As Double
```

1.4.3 Instrucciones para controlar el flujo del programa.

1.4.3.1 Instrucciones condicionales.

Instrucción IF-THEN-ELSE.

Sintaxis	<pre>If [Condición 1] Then [Bloque de instrucciones 1] Else [Bloque de instrucciones 2] End If</pre>
----------	--

Ejemplo 1	<pre>If A >= 0 Then SignoA = "" Else SignoA = " -" End If</pre>
-----------	--

Ejemplo 2	<pre>If B = 0 Then SignoB = " + " Else: SignoB = " - " End If</pre>
-----------	---

El lector habrá advertido el manejo de : en el ejemplo anterior. Este caracter sirve para separar instrucciones cuando estas se escriben en una sola línea. De esta forma pueden agruparse instrucciones en pequeños bloques de una línea para mayor claridad.

Instrucción SELECT CASE.

Sintaxis	<pre>Select Case [Variable] Case 1 [Bloque de instrucciones 1] Case 2 [Bloque de instrucciones 2] ... Case Else [Bloque de instrucciones otro] End Select</pre>
Ejemplo	<pre>v = Text1.Text Select Case v Case "1" Label1.Caption = "I" Case "2" Label1.Caption = "II" Case "3" Label1.Caption = "III" Case Else Label1.Caption = "???" End Select</pre>

Los valores de la variable se escriben entre comillas cuando la variable es de cadena (string). Las comillas se omiten si la variable es numérica.

Si no se requiere, en las instrucciones IF-THEN-ELSE y SELECT CASE pueden ser omitidos ELSE y CASE ELSE.

La instrucción `v = Text1.Text` se usa para asignar a la variable `v` el texto introducido en la TextBox llamada `Text1`.

Las instrucciones `Label1.Caption = " "` sirven para desplegar el texto entre comillas en la Label llamada Label1.

Instrucción GOTO.

Sirve para mandar el flujo del programa a la línea numerada específica. No es propiamente una instrucción condicional, pero se acostumbra usar en combinación con IF-THEN-ELSE y SELECT CASE.

Sintaxis `GoTo [#LINEA]`

Donde #LINEA es el número de la línea al cual se quiere mandar el flujo del programa.

Ejemplo

```
10
    NUMERO = Text1.Text
    If NUMERO > 10 Then
        Text1.Text = "0"
        GoTo 10
    End If
```

1.4.3.2 Instrucciones para realizar procesos repetitivos (iteraciones).

Instrucción DO ... LOOP UNTIL.

DO ejecuta el bloque de instrucciones mientras la condición no se cumple. LOOP UNTIL rompe el ciclo de ejecución de DO cuando la condición se cumple.

Sintaxis

```
Do
    [Bloque de instrucciones]
Loop Until [Condición]
```

Ejemplo

```
i = 1
Do
    Form1.Print i
    i = i + 1
Loop Until i > 10
```

Instrucción WHILE ... WEND.

Ejecuta un bloque de instrucciones mientras una condición se cumpla.

Sintaxis **While** [Condición]
 [Bloque de instrucciones]
 Wend

Ejemplo `i = 1`
 `while i <= 10`
 `Form1.Print i`
 `i = i + 1`
 `wend`

Combinación de las instrucciones IF-THEN-ELSE y GOTO.

Combinando de manera correcta estas instrucciones se puede crear un bucle o circuito iterativo. También deberá numerarse la línea donde se quiera que retorne el flujo.

Ejemplo `i = 1`
 `20`
 `Form1.Print i`
 `i = i + 1`
 `if i <= 10 then`
 `goto 20`
 `end if`

Instrucción FOR ... NEXT.

Ejecuta el bloque de instrucciones un número específico de veces.

Sintaxis **For** Contador = Vinicial **To** Vfinal [Step Incremento]
 [Bloque de instrucciones]
 Next Contador

Donde Contador es una variable numérica, Vinicial y Vfinal son los valores inicial y final de la variable contador, STEP sirve para especificar el incremento del contador (si se omite el incremento será de 1 en 1).

Ejemplo 1

```
For i = 1 To 10
  Form1.Print i
Next i
```

Ejemplo 2

```
For i = 2 To 10 Step 2
  Form1.Print i
Next i
```

Note que a diferencia de las otras instrucciones iterativas, en el caso de FOR no es necesaria la instrucción $i = i + 1$. Esto se debe a que las instrucciones STEP y NEXT incrementan el valor de la variable contador.

En las sentencias anteriores (excepto FOR) se habrá visto $i = 1$ escrita antes de la sentencia iterativa. $i = 1$ sirve para dar un valor inicial a la variable i .

1.4.4 Principales funciones de cadenas.

Una cadena es una sucesión de caracteres. Por ejemplo:

```
Esta es una cadena
xsn-01
83358
```

El último de los ejemplos es una cadena numérica. La diferencia entre una cadena numérica y un número es que al número se le puede operar matemáticamente, no así a la cadena numérica. Para hacer las transformaciones entre uno y otro tipo se cuenta con dos funciones de cadenas:

Str(número) Convierte un número a una cadena en numeración decimal. Sirve para presentar el valor de una variable numérica ó un número en una TextBox, Label, ComboBox, o Form.

Val(cadena numérica) Obtiene el valor (el número) correspondiente a esa cadena. Se utiliza para operar matemáticamente el valor obtenido de uno de los controles anteriormente mencionados.

Ejemplos:

```
Variablenum = Val(Text1.Text)
```

Este ejemplo convierte la cadena de caracteres (numéricos) que hubiese en la caja de texto Text1 en un número, y asocia este número a la variable Variablenum.

Si el contenido de la caja de textos no fuesen caracteres numérico (abcd, por ejemplo), Variablenum tomaría el valor 0.

```
Label1.Caption = Str(Variablenum)
```

Con esta instrucción se despliegan la etiqueta Label1 los caracteres correspondientes al valor que tuviese la variable Variablenum.

LCase(cadena)

Devuelve otra cadena igual, pero con todos los caracteres en minúsculas. (LCase = Lower Case).

```
Lcase(cadena) = teoría de la elasticidad
```

UCase(cadena)

Devuelve otra cadena igual, pero con todos los caracteres en mayúsculas. (UCase = Upper Case).

```
UCase(cadena) = TEORÍA DE LA ELASTICIDAD
```

1.4.5 Funciones matemáticas.

<i>Función</i>	<i>Sintaxis</i>
Signo de un número	Sgn([Argumento])
Parte entera de un número	Cint([Argumento])
Valor absoluto	Abs([Argumento])
Raíz cuadrada	Sqr([Argumento])
Seno	Sin ([Argumento])
Coseno	Cos([Argumento])
Tangente	Tan([Argumento])
Arco tangente	Atn([Argumento])
Exponencial e	Exp([Argumento])
Logaritmo natural	Log([Argumento])

Donde [Argumento] puede ser una cantidad numérica o variable.

1.4.6 Operadores aritméticos.

<i>Operación</i>	<i>Operador</i>
Suma	+
Resta	-
Multiplicación	*
División	/
Potencia	^

1.4.7 Operadores relacionales.

Igual que	=
Diferente de	<>
Mayor que	>
Mayor o igual que	>=
Menor que	<
Menor o igual que	<=

1.4.8 Arreglos matriciales.

Cuando se considera que un grupo de variables es de clase similar, lo más práctico es almacenarlas en una matriz. Por ejemplo, si se quiere almacenar una lista de nombres, la forma de referirnos a un nombre en particular es:

Nombre(n) Donde n es el número por orden de lista de ese nombre.

Las matrices normalmente comienzan a numerar por el número 0, pero es posible hacer que se numere desde 1 mediante la instrucción:

Option Base 1

que debe colocarse al comienzo del módulo o formulario donde sea declarada la matriz. La declaración de esta se hace como con todas las variables, especificando entre paréntesis el número de elementos que componen la matriz:

Dim Nombre(25) as String

Mediante la instrucción anterior se ha declarado que la matriz Nombre es de tipo cadena, y que hay 25 elementos en ella (en el sentido matemático, la matriz anteriormente declarada es un vector).

Una matriz también se puede declarar de la siguiente forma:

Dim Nombre(1 To 25) as String

donde se especifica que la matriz Nombre tiene 25 elementos, que el primero tiene el índice 1 y el último tiene el índice 25.

Ahora imagínese que se quiere incluir en la misma matriz el nombre, primer apellido y segundo apellido. Será necesario declarar una matriz de 25 por 3. Como todos los elementos serán cadenas de caracteres, puede declararse de la siguiente forma:

`Dim Nombre(1 To 25, 1 To 3) As String`

De esta forma, el primer apellido del nombre que ocupa el puesto número 15 de la clase, será el elemento:

`Nombre(15, 2)`

Podemos definir matrices de dimensión superior a dos. Podemos llegar a un máximo de 60 dimensiones [3]. Una matriz de 5 dimensiones se declararía:

`Dim Variable (1 To N, 1 To M, 1 To P, 1 To Q, 1 To R)`

entendiendo que hay N, M, P, Q y R elementos en cada una de las dimensiones respectivamente.

1.4.9 Manejo de comentarios dentro de un programa.

Cuando se ha escrito un programa hace mucho tiempo y por alguna razón se vuelve a revisar, la mayoría de las veces no se recuerda el funcionamiento de alguna instrucción o de un conjunto de ellas. Para evitar esto, Visual BASIC cuenta con instrucciones cuya función es introducir comentarios en el código fuente. Estos dan información acerca de una instrucción o conjunto de ellas. Existen dos formas de introducir comentarios en Visual BASIC:

Instrucción REM.

Sintaxis `Rem [Comentario]`

Donde [Comentario] es el comentario que se quiere hacer acerca de una instrucción anterior o siguiente.

Ejemplo: `Rem Esto es un comentario hecho con rem`

Apóstrofo (').

Sintaxis `' [Comentario]`

Ejemplo: ' Esto es un comentario hecho con apóstrofo

El funcionamiento de Rem y ' es el siguiente: El compilador lee y ejecuta las instrucciones del programa línea por línea en orden descendente. Si al principio de la línea encuentra una instrucción REM o un apóstrofo saltará a la línea siguiente.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Entre los temas avanzados en mecánica de materiales se encuentra la teoría de vigas curvas. Existen varios textos acerca del tema. Algunos tienen bien explicada la teoría pero pocas ecuaciones, otros casi no tienen teoría pero tienen buena información en tablas, etc.

Dada esta situación, se ha propuesto como un objetivo de este trabajo revisar varias fuentes bibliográficas relacionadas con la teoría de vigas curvas, tomar lo mejor de cada una de ellas, y elaborar unas notas para la enseñanza del tema.

Teniendo en cuenta que algunas de las ecuaciones derivadas de esta teoría son de complejidad considerable, y que el cálculo de variables con ellas es tardado si se hace de forma manual, también se ha propuesto desarrollar un programa de computadora que calcule los esfuerzos circunferenciales y radiales, que son los contemplados por la teoría. El nombre del programa es VCURVA.

REFERENCIAS.

- [1] FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN EN VISUAL BASIC. Danny A. Matta Gonzales.
<http://members.es.tripod.de/tutorial/index.html>
- [2] VISUAL BASIC - GUÍA DEL ESTUDIANTE. Luis Suárez Bernaldo.
http://vigon.mvps.org/manuales/vb_guia.zip http://tec.upc.es/ie/practi/manual_VB/
- [3] ARCHIVO DE AYUDA DE MICROSOFT VISUAL BASIC 4.0
Office XP.

Capítulo 2

TEORÍA DE VIGAS CURVAS

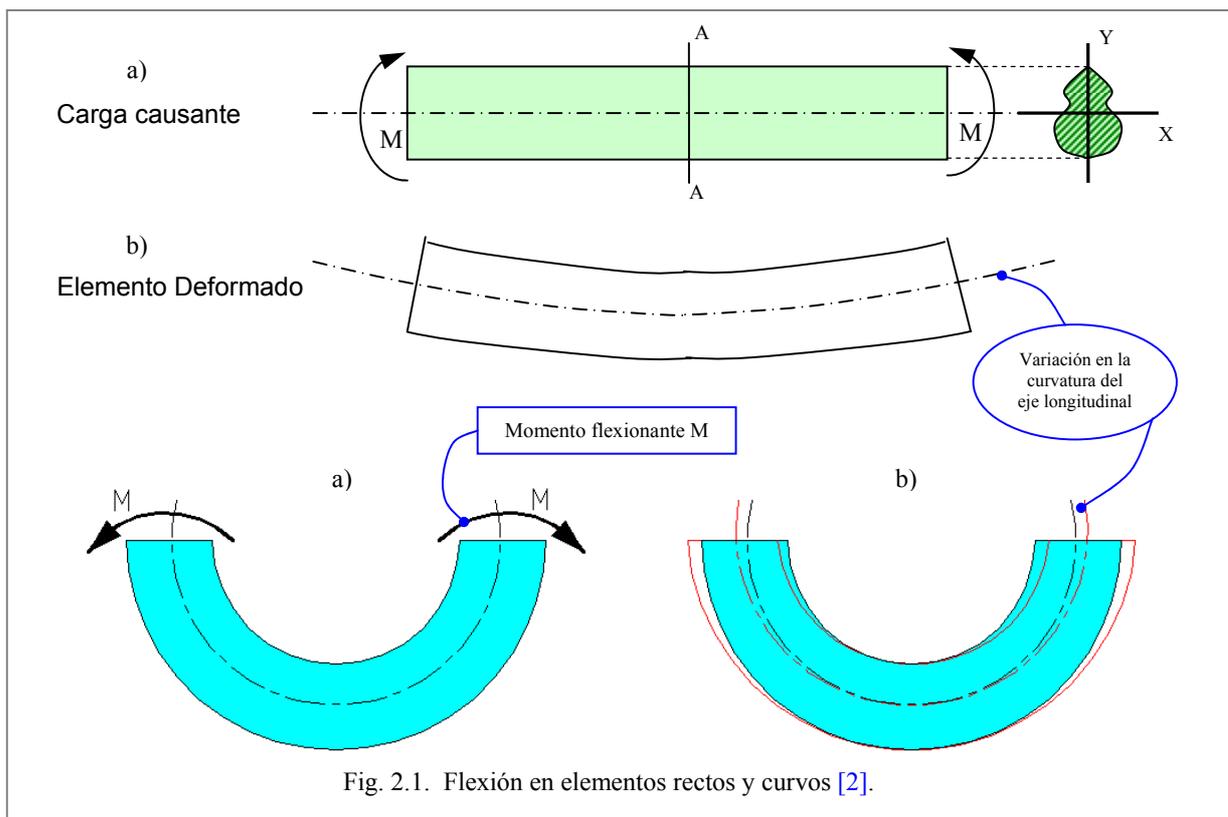
Capítulo 2

TEORÍA DE VIGAS CURVAS

De acuerdo a lo planteado en el objetivo de este trabajo, en el presente capítulo es desarrollada la teoría de flexión aplicada a vigas curvas, mostrando la obtención de las ecuaciones de los esfuerzos circunferencial y radial, y de otras relacionadas con estas. La obtención de las ecuaciones es fundamental para su posterior desglose y programación.

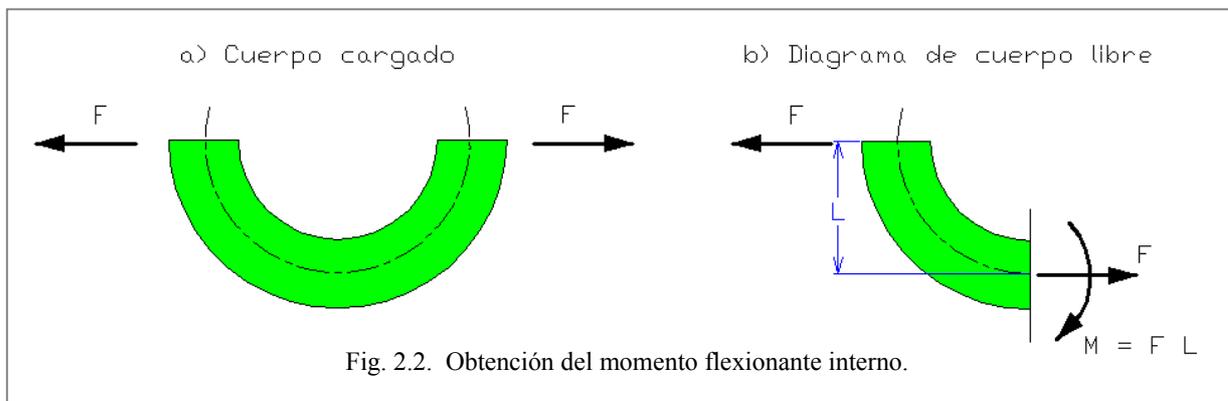
2.1 EL FENÓMENO DE LA FLEXIÓN.

Este fenómeno se da cuando un cuerpo es cargado de tal forma que su eje longitudinal sufre una variación en la curvatura (ver Fig. 2.1).



Al cuerpo que está sometido a cargas que producen flexión se le llama *viga*. Dependiendo si su eje longitudinal es recto o curvo, al cuerpo se le conoce como *viga recta* ó *viga curva*.

Las cargas que producen flexión se llaman *momentos flexionantes*. Cuando hay solo un momento flexionante actuando, se dice que la viga está sometida a flexión pura. Pocas veces esto es así. En la mayoría de los casos los momentos flexionantes son ocasionados por fuerzas perpendiculares al eje longitudinal del elemento que actúan sobre un brazo de palanca que puede ser la longitud de la viga o parte de ella (Fig. 2.2).



Obsérvese que el momento flexionante mostrado en la figura 2.2 es una carga interna cuya magnitud es determinada una vez que se secciona al cuerpo y es trazado el diagrama de cuerpo libre de la sección. Un momento flexionante se considera positivo si por su dirección de giro este tiende a disminuir la curvatura de la viga.

2.2 ECUACIONES PARA FLEXIÓN EN VIGAS CURVAS.

2.2.1 Esfuerzo normal circunferencial.

Con la finalidad de desarrollar una ecuación para calcular el esfuerzo normal circunferencial, se hacen las siguientes suposiciones:

- El material es homogéneo (todos sus puntos tienen las mismas propiedades), isótropo (no existen direcciones privilegiadas), continuo (consiste en una

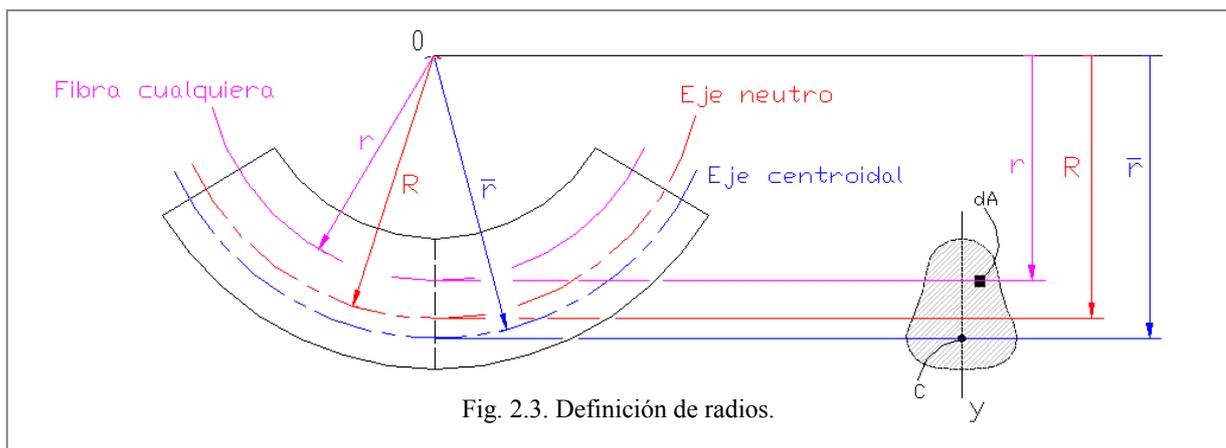
distribución uniforme de materia que no contiene huecos), y se comporta de manera elástica-lineal cuando la carga es aplicada.

- La sección transversal es constante y tiene un eje de simetría perpendicular a la dirección del momento flexionante.
- Las secciones transversales del miembro permanecen planas después de aplicar la carga (no hay alabeo).
- Cualquier distorsión de la sección transversal dentro de su propio plano es despreciada, considerando que las deformaciones son pequeñas [2].

Además de las suposiciones anteriores, son definidos tres radios medidos desde el centro de curvatura de la viga (ver Fig. 2.3):

- r Localiza a la fibra donde será evaluado el esfuerzo.
- R Radio del eje neutro.
- \bar{r} Radio del eje centroidal (se hace la suposición de que el eje centroidal y el eje neutro no coinciden).

La ecuación de esfuerzo será función, en parte, de estos radios.



Una vez definido lo anterior se procede con el desarrollo de la ecuación. Para ello considérese una viga curva con variadas cargas (Fig. 2.4 a). Tomando un segmento de

esta y haciendo el diagrama de cuerpo libre del mismo obtenemos el sistema de cargas mostrado en 2.4 b. En la sección BC hay una fuerza de tensión P , una fuerza cortante V , y un momento flexionante que gira alrededor del eje x (M_x). Estas cargas son equilibradas por las resultantes de esfuerzos normales σ_θ y cortantes $\tau_{r\theta}$ que actúan en la sección FG del segmento.

Haciendo suma de fuerzas en dirección de z y suma de momentos alrededor del eje x obtenemos lo siguiente:

$$\sum F_z = P - \int \sigma_\theta \cos(d\theta) dA - \int \tau_{r\theta} \sin(d\theta) dA = 0$$

$$\sum M_x = M_x - \int (\bar{r} - r) \sigma_\theta \cos(d\theta) dA - \int \left[(\bar{r} - r) \sin(d\theta) + r d\theta \right] \tau_{r\theta} dA = 0$$

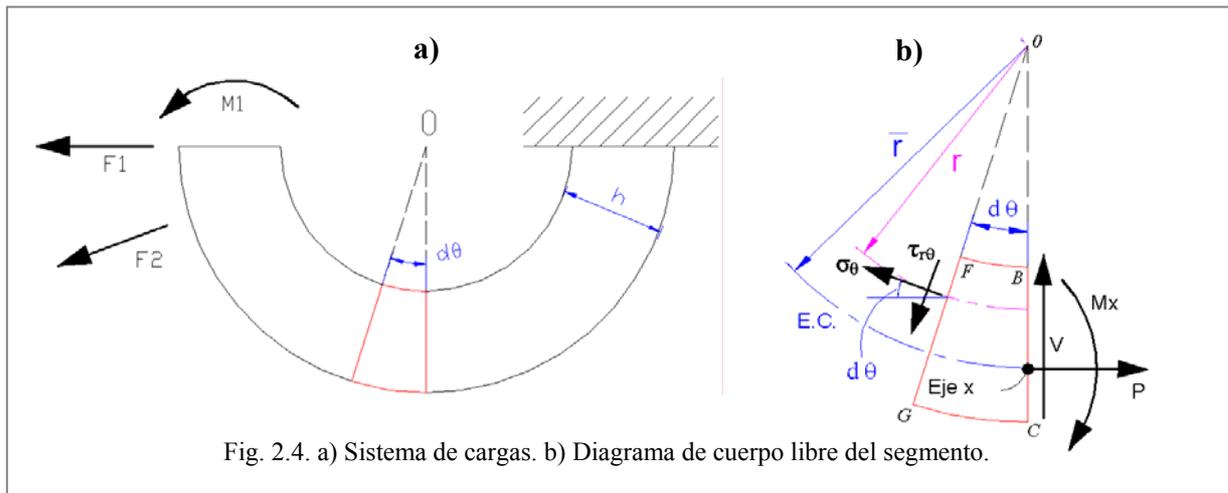


Fig. 2.4. a) Sistema de cargas. b) Diagrama de cuerpo libre del segmento.

Considerando que $d\theta$ es un ángulo pequeño, $\cos(d\theta) \approx 1$, $\sin(d\theta) \approx d\theta$. Además, cuando el alma de la sección transversal no es excesivamente delgada, el término del esfuerzo cortante puede despreciarse sin que haya una variación significativa en el resultado

$$P - \int \sigma_\theta dA = 0 , \quad P = \int \sigma_\theta dA \quad 2-1$$

$$M_x - \int (\bar{r} - r) \sigma_\theta dA = 0 , \quad M_x = \int (\bar{r} - r) \sigma_\theta dA \quad 2-2$$

El momento flexionante ocasiona que el segmento de viga se flexione de forma tal que la única fibra que queda sin deformar es el eje neutro (Fig. 2.5). Las secciones del segmento giran con respecto a sus puntos de intersección con el eje neutro un ángulo $\delta\theta / 2$. Basándose en lo anterior, es posible determinar la deformación unitaria de la fibra localizada a la distancia r del centro de curvatura [2]

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{S} = \frac{2 (R-r) \frac{\delta\theta}{2}}{r d\theta} = \frac{\delta\theta}{d\theta} \left(\frac{R-r}{r} \right)$$

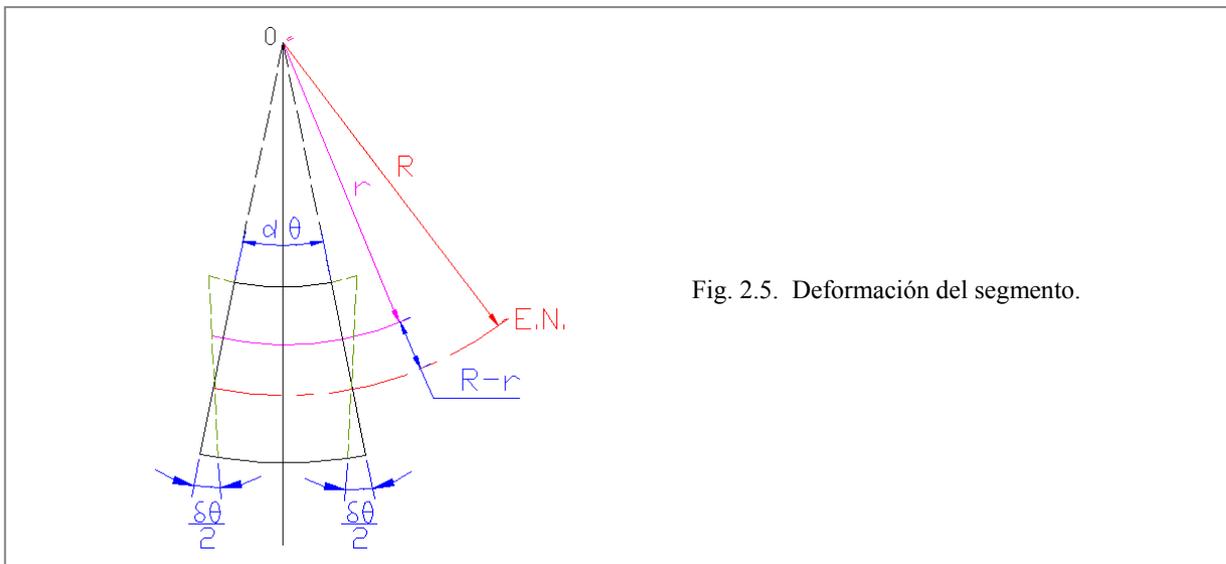


Fig. 2.5. Deformación del segmento.

Al tener sección transversal constante, $\delta\theta$ vale lo mismo para cualquier segmento de ángulo $d\theta$ que se tome. Esto es $\delta\theta / d\theta = K$, donde K es constante. Sustituyendo en la ecuación para la deformación unitaria se obtiene

$$\varepsilon = K \left(\frac{R-r}{r} \right) \tag{2-3}$$

Aplicando la ley de Hooke a la expresión anterior:

$$\sigma_\theta = E \varepsilon = E K \left(\frac{R-r}{r} \right) \tag{2-4}$$

Sustituyendo 2-4 en 2-1 y considerando que E , K y R son constantes

$$\begin{aligned}
 P &= \int E K \left(\frac{R-r}{r} \right) dA \\
 &= E K R \int \frac{dA}{r} - E K A \\
 P &= E K R U - E K A
 \end{aligned} \tag{2-5}$$

donde

$$U = \int \frac{dA}{r} \tag{2-6}$$

La expresión 2-6 es una función de la sección transversal. Posteriormente será estudiada.

Sustituyendo 2-4 en 2-2

$$M_x = \int (\bar{r}-r) E K \left(\frac{R-r}{r} \right) dA = E K R \left[\bar{r} U - A \right] \tag{2-7}$$

Despejando $E K R$ de 2-7

$$E K R = \frac{M_x}{\bar{r} U - A} \tag{2-8}$$

Sustituyendo 2-8 en 2-5

$$P = \frac{M_x}{\bar{r} U - A} U - E K A$$

Despejando $E K$

$$E K = -\frac{P}{A} + \frac{M_x U}{A (\bar{r} U - A)} \tag{2-9}$$

Aplicando la propiedad distributiva a 2-4

$$\sigma_{\theta} = \frac{E K R}{r} - E K \quad 2-10$$

Sustituyendo 2-8 y 2-9 en 2-10

$$\sigma_{\theta} = \frac{\left[\frac{M_x}{\bar{r}U - A} \right]}{r} - \left[-\frac{P}{A} + \frac{M_x U}{A(\bar{r}U - A)} \right]$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{M_x}{r(\bar{r}U - A)} + \frac{P}{A} - \frac{M_x U}{A(\bar{r}U - A)}$$

De donde se obtiene la ecuación para el esfuerzo normal circunferencial [3]

$$\sigma_{\theta} = \frac{P}{A} + \frac{M_x (A - rU)}{A r (\bar{r}U - A)} \quad 2-11$$

Considerando $\sigma_{\theta} = \sigma_{\theta}(r)$, puede verse que la distribución del esfuerzo en la sección es hiperbólica.

En el eje neutro el esfuerzo normal σ_{θ} es nulo, por lo tanto $r = R$. Sustituyendo estos valores en 2-11 y despejando R se obtiene la posición del eje neutro

$$R = \frac{A M_x}{U M_x + P (A - \bar{r}U)} \quad 2-12$$

Si la viga está sometida a flexión pura, $P = 0$ y 2-12 se simplifica a $R = A / U$.

Una de las suposiciones hechas en la obtención de σ_{θ} es que el eje centroidal y el eje neutro no coinciden, esto es $R \neq \check{r}$. A la diferencia $\check{r} - R$ se le conoce como *excentricidad*. A medida que la curvatura de la viga disminuye, los valores de \check{r} y R

aumentan volviéndose la excentricidad cada vez menor, hasta volverse nula en el caso de una viga recta, para la cual \check{r} y R son infinitos. En este caso la ecuación 2-11 deriva en $\sigma_\theta = P/A + M_x y/I_x$, donde el segundo término del segundo miembro es la fórmula de la flexión para vigas rectas.

2.2.1.1 Ecuaciones de U para diferentes tipos de sección.

Como se ha dicho anteriormente, el valor de U depende del tipo de sección transversal empleada. A continuación se muestra el proceso de obtención de U para algunos tipos de secciones comunes.

Sección rectangular.

En la figura 2.6 está dibujada una sección rectangular, donde sus lados verticales se encuentran a las distancias r_1 y r_2 de un eje que pasa por el centro de curvatura de la viga. También se ha propuesto un elemento diferencial de área dA de forma rectangular, cuyo valor es $b dr$. La integración se hará horizontalmente desde r_1 hasta r_2 .

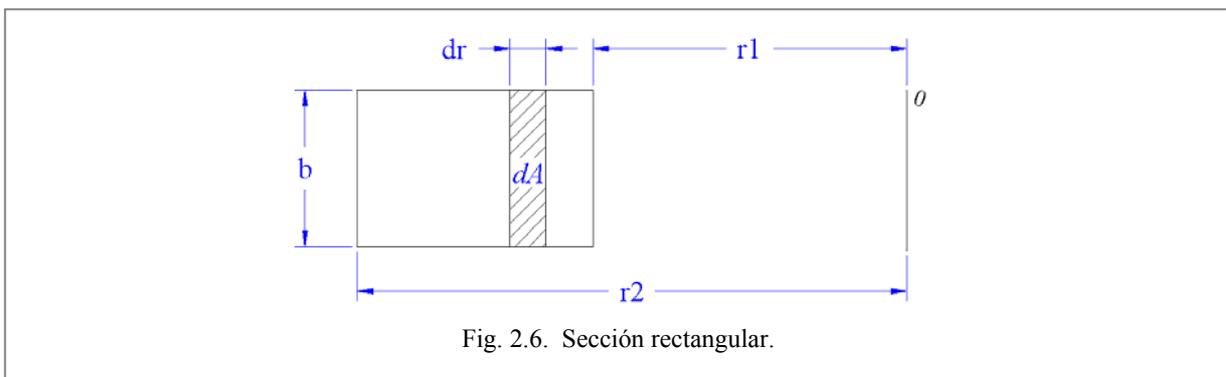


Fig. 2.6. Sección rectangular.

$$\begin{aligned}
 U &= \int \frac{dA}{r} = \int \frac{b dr}{r} \\
 &= b \left[\ln r \right]_{r_1}^{r_2} = b \left[\ln r_2 - \ln r_1 \right]
 \end{aligned}$$

$$U = b \ln \frac{r_2}{r_1} \qquad 2-13$$

Sección triangular.

En este caso, la sección está acotada por las funciones lineales $g(r) = -m r + C$ y $h(r) = m r - C$ (ver Fig. 2.7 b).

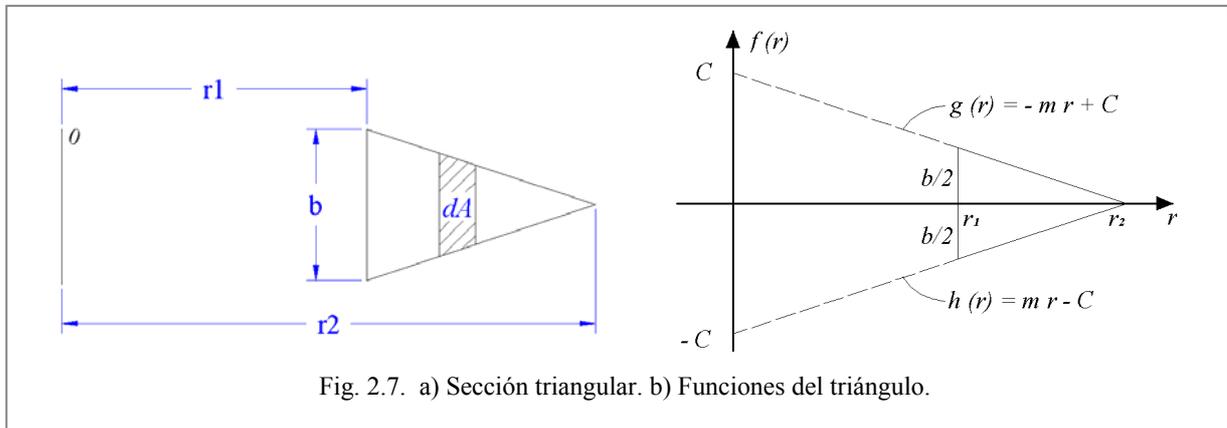


Fig. 2.7. a) Sección triangular. b) Funciones del triángulo.

Del cálculo integral, el área entre estas rectas se define como

$$A = \int_{r_1}^{r_2} [g(r) - h(r)] dr$$

de donde requerimos solo dA

$$dA = [g(r) - h(r)] dr \quad 2-14$$

Sustituyendo dA en 2-6

$$U = \int \frac{dA}{r} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{[g(r) - h(r)] dr}{r}$$

Sustituyendo $g(r)$ y $h(r)$ en la expresión anterior

$$\begin{aligned} U &= \int_{r_1}^{r_2} \frac{[-m r + C - (m r - C)] dr}{r} \\ &= \int_{r_1}^{r_2} \frac{2(C - m r) dr}{r} \end{aligned}$$

$$U = 2 C \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} - 2 m \int_{r_1}^{r_2} dr$$

Resolviendo la integral

$$U = 2 C \ln \frac{r_2}{r_1} - 2 m (r_2 - r_1) \quad 2-15$$

De la figura 2.7 b se deduce que

$$m = \frac{b}{2 (r_2 - r_1)} \quad 2-16$$

A partir de esto es posible determinar la ordenada al origen C

$$\frac{C}{r_2} = \frac{b}{2 (r_2 - r_1)}, \quad C = \frac{b r_2}{2 (r_2 - r_1)} \quad 2-17$$

Sustituyendo 2-16 y 2-17 en 2-15 y simplificando

$$U = \frac{b r_2}{r_2 - r_1} \ln \frac{r_2}{r_1} - b \quad 2-18$$

Sección circular.

La ecuación ordinaria de la circunferencia es

$$(x - h)^2 + (y - k)^2 = c^2 \quad 2-19$$

Considerando que $x = r$, $y = f(r)$, $h = \bar{r}$, y $k = 0$ (Fig. 2.8 b)

$$(r - \bar{r})^2 + (f(r))^2 = c^2$$

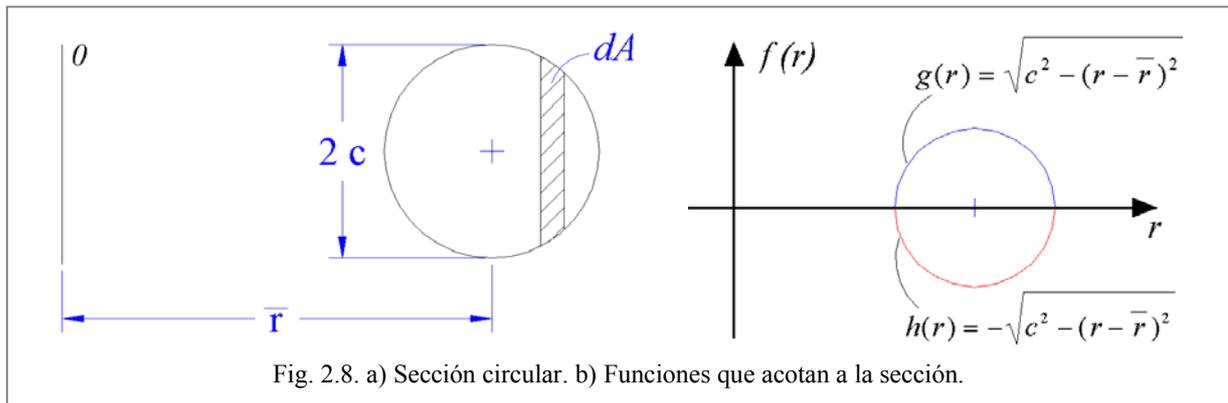
Despejando $f(r)$

$$f(r) = \pm \sqrt{c^2 - (r - \bar{r})^2}$$

donde el doble signo indica que para reproducir a la ecuación 2-18 es necesario el uso de dos funciones de igual magnitud pero de signo contrario. Al valor positivo de $f(r)$ será llamado $g(r)$ y al valor negativo se le llamará $h(r)$ (ver Fig. 2.8 b). Lo anterior

significa que el área de la sección circular está contenida entre las funciones $g(r)$ y $h(r)$. Por lo tanto, al sustituir los valores de $g(r)$ y $h(r)$ en la ecuación 2-14, se obtiene la expresión de la diferencial de área:

$$dA = 2 \sqrt{c^2 - (r - \bar{r})^2} dr$$



Sustituyendo dA en 2-6

$$U = \int \frac{dA}{r} = \int_{\bar{r}-c}^{\bar{r}+c} \frac{2 \sqrt{c^2 - (r - \bar{r})^2}}{r} dr$$

donde los límites de integración ahora son función del radio centroidal y del radio de la sección.

Simplificando U se obtiene:

$$U = 2 \pi \left(\bar{r} - \sqrt{\frac{\bar{r}^2}{r} - c^2} \right) \tag{2-20}$$

Secciones compuestas.

En el diseño de vigas curvas se acostumbra utilizar secciones cuya geometría hace posible analizarlas (mediante su descomposición), como un conjunto de figuras simples (normalmente rectángulos o triángulos). Por ejemplo, una sección trapezoidal se puede dividir en una sección rectangular y dos triangulares (Fig. 2.9). De esta forma el valor de

U para dicha sección es la suma de los valores de U para las secciones componentes. Obsérvese que cada sección componente debe ser dimensionada para obtener su correspondiente valor de U de forma correcta.

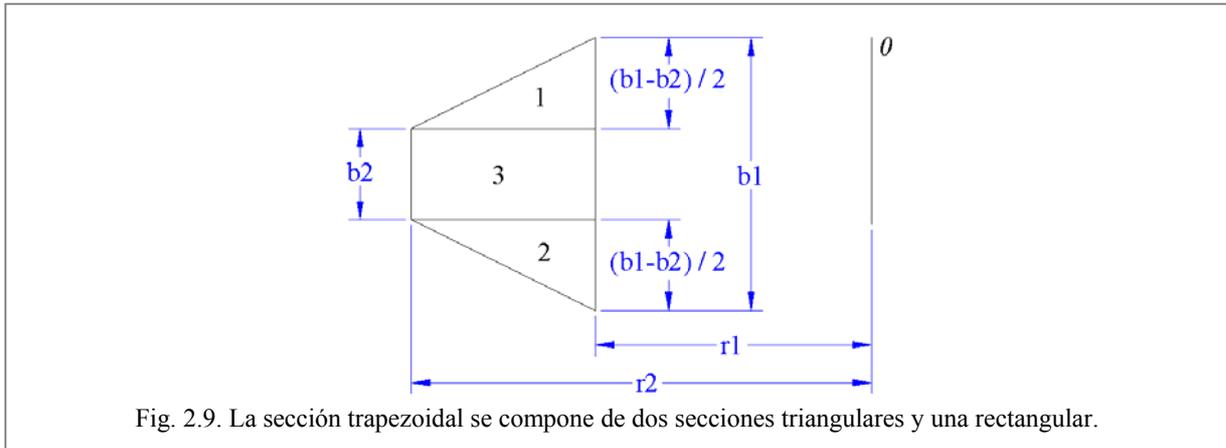


Fig. 2.9. La sección trapezoidal se compone de dos secciones triangulares y una rectangular.

Utilizando las ecuaciones 2-13 y 2-18 y auxiliándose de la figura 2.9, se determina el valor de U para la sección trapezoidal:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = \left[\frac{\left(\frac{b_1 - b_2}{2} \right) r_2}{r_2 - r_1} \ln \frac{r_2}{r_1} - \left(\frac{b_1 - b_2}{2} \right) \right] \times 2 + b_2 \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Simplificando

$$U = \frac{b_1 r_2 - b_2 r_1}{r_2 - r_1} \ln \frac{r_2}{r_1} - b_1 + b_2 \tag{2-21}$$

Con este procedimiento pueden obtenerse los valores de U para secciones T, I, etc.

Si se desea calcular U para una sección tubular el procedimiento es similar, solo que en este caso la U de las dimensiones interiores deberá restarse de la U de las dimensiones exteriores.

Otro aspecto a considerar es el cálculo del radio centroidal para la sección compuesta. La ecuación correspondiente es:

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{r}_i A_i}{A} \tag{2-22}$$

- Donde
- \bar{r} Radio centroidal de la sección compuesta
 - \bar{r}_i Radio centroidal de la *i*-ésima sección componente
 - A_i Área de la *i*-ésima sección componente
 - $A = \sum_{i=1}^n A_i$ Área de la sección compuesta

La tabla 2.1 muestra los valores de U para las secciones simples y compuestas de uso más común en el diseño de vigas curvas. Se incluyen también áreas y radios centroidales.

Tabla 2.1. Valores de $U = \int \frac{dA}{r}$ para diferentes tipos de secciones [3], [4].

	$A = b (r_2 - r_1) ; \quad \bar{r} = \frac{r_1 + r_2}{2}$ $U = b \ln \frac{r_2}{r_1}$
	$A = \frac{b}{2} (r_2 - r_1) ; \quad \bar{r} = \frac{2 r_1 + r_2}{3}$ $U = \frac{b r_2}{r_2 - r_1} \ln \frac{r_2}{r_1} - b$
	$A = \pi c^2$ $U = 2 \pi \left(\bar{r} - \sqrt{\bar{r}^2 - c^2} \right)$

Tabla 2.1. Valores de $U = \int \frac{dA}{r}$ para diferentes tipos de secciones (continuación) [3], [4].

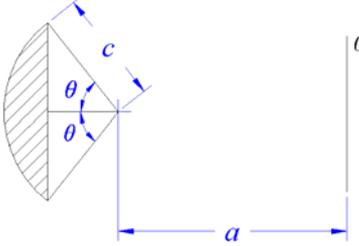
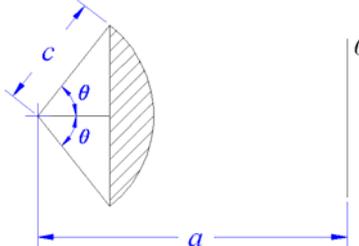
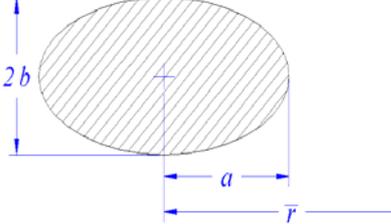
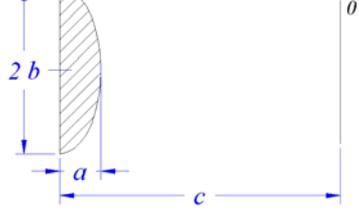
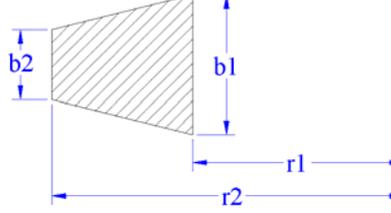
	$A = c^2 \theta - \frac{c^2}{2} \operatorname{sen} 2\theta ; \quad \bar{r} = a + \frac{4 c \operatorname{sen}^3 \theta}{3 (2\theta - \operatorname{sen} 2\theta)}$ <p>Si $a > c$,</p> $U = 2 a \theta - 2 c \operatorname{sen} \theta - \pi \sqrt{a^2 - c^2} + 2 \sqrt{a^2 - c^2} \operatorname{sen}^{-1} \left(\frac{c + a \cos \theta}{a + c \cos \theta} \right)$ <p>Si $c > a$,</p> $U = 2 a \theta - 2 c \operatorname{sen} \theta + 2 \sqrt{c^2 - a^2} \ln \left(\frac{c + a \cos \theta + \sqrt{c^2 - a^2} \operatorname{sen} \theta}{a + c \cos \theta} \right)$
	$A = c^2 \theta - \frac{c^2}{2} \operatorname{sen} 2\theta ; \quad \bar{r} = a - \frac{4 c \operatorname{sen}^3 \theta}{3 (2\theta - \operatorname{sen} 2\theta)}$ $U = 2 a \theta + 2 c \operatorname{sen} \theta - \pi \sqrt{a^2 - c^2} - 2 \sqrt{a^2 - c^2} \operatorname{sen}^{-1} \left(\frac{c - a \cos \theta}{a - c \cos \theta} \right)$
	$A = \pi a b$ $U = \frac{2 \pi b}{a} \left(\bar{r} - \sqrt{\bar{r}^2 - a^2} \right)$
	$A = \frac{\pi a b}{2} ; \quad \bar{r} = c - \frac{4 a}{3 \pi}$ $U = 2 b + \frac{\pi b}{a} \left(c - \sqrt{c^2 - a^2} \right) - \frac{2 b}{a} \sqrt{c^2 - a^2} \operatorname{sen}^{-1} \left(\frac{a}{c} \right)$
	$A = \frac{1}{2} (b_1 + b_2) (r_2 - r_1) ; \quad \bar{r} = \frac{r_1 (2 b_1 + b_2) + r_2 (b_1 + 2 b_2)}{3 (b_1 + b_2)}$ $U = \frac{b_1 r_2 - b_2 r_1}{r_2 - r_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + b_2 - b_1$

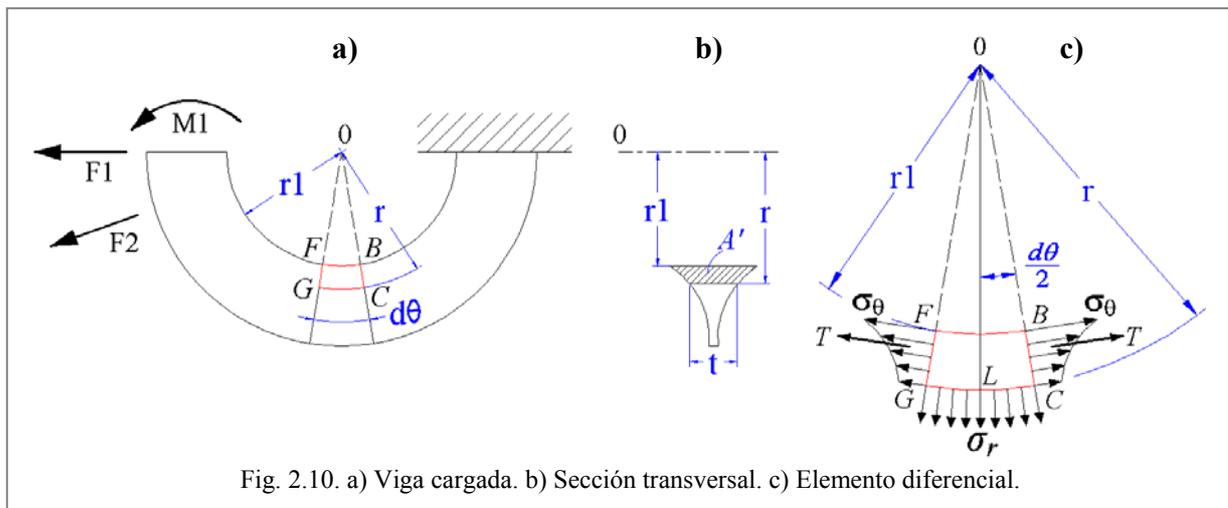
Tabla 2.1. Valores de $U = \int \frac{dA}{r}$ para diferentes tipos de secciones (continuación) [3], [4].

	$A = b h_1 + b_2 (h - h_1)$ $\bar{r} = r_1 + \frac{(b - b_2) h_1^2 + b_2 h^2}{2 [(b - b_2) h_1 + b_2 h]}$ $U = b \ln \frac{r_1 + h_1}{r_1} + b_2 \ln \frac{r_1 + h}{r_1 + h_1}$
	$A = b h_1 + b_2 (h - h_1 - h_3) + b_3 h_3$ $\bar{r} = r_1 + \frac{\frac{1}{2} h^2 b_2 + \frac{1}{2} h_1^2 (b - b_2) + (b_3 - b_2) h_3 (h - \frac{1}{2} h_3)}{(b - b_2) h_1 + (b_3 - b_2) h_3 + b_2 h}$ $U = b \ln \frac{r_1 + h_1}{r_1} + b_2 \ln \frac{r_1 + h - h_3}{r_1 + h_1} + b_3 \ln \frac{r_1 + h}{r_1 + h - h_3}$
	$A = b (h_1 + h_3) + 2 b_2 (h - h_1 - h_3)$ $\bar{r} = r_1 + \frac{h^2 b_2 + (b - 2 b_2) [\frac{1}{2} h_1^2 + h_3 (h - \frac{1}{2} h_3)]}{2 b_2 h + (b - 2 b_2) (h_1 + h_3)}$ $U = b \ln \frac{r_1 + h_1}{r_1} + 2 b_2 \ln \frac{r_1 + h - h_3}{r_1 + h_1} + b \ln \frac{r_1 + h}{r_1 + h - h_3}$
	$A = \pi (c_1^2 - c_2^2)$ $U = 2 \pi \left(\sqrt{\bar{r}^2 - c_2^2} - \sqrt{\bar{r}^2 - c_1^2} \right)$
	$A = \pi (a_1 b_1 - a_2 b_2)$ $U = \frac{2 \pi b_1}{a_1} \left(\bar{r} - \sqrt{\bar{r}^2 - a_1^2} \right) - \frac{2 \pi b_2}{a_2} \left(\bar{r} - \sqrt{\bar{r}^2 - a_2^2} \right)$

2.2.2 Esfuerzo normal radial.

Considérese una viga con un sistema de cargas (Fig. 2.10 a), de la cual se extrae el elemento diferencial *BCFG* y se hace su diagrama de cuerpo libre (Fig. 2.10 c). Obsérvese como en las caras *BC* y *FG* actúan los esfuerzos circunferenciales σ_θ cuya fuerza resultante es

$$T = \int_{r_1}^r \sigma_\theta dA \tag{2-23}$$



La componente vertical de *T* es equilibrada por la acción de los esfuerzos radiales σ_r que actúan sobre el área $t r d\theta$, donde *t* es el espesor de la sección transversal que se encuentra a la distancia *r* del centro de curvatura *o* (Fig. 2.10 b). Haciendo suma de fuerzas en dirección radial

$$\sum F_r = 0 ; \quad \sigma_r t r d\theta - 2 T \text{sen} (d\theta / 2) = 0$$

Considerando que $\text{sen}(d\theta / 2) \approx d\theta / 2$ por ser un ángulo pequeño

$$(\sigma_r t r - T) d\theta = 0$$

Despejando σ_r

$$\sigma_r = \frac{T}{t r} \tag{2-24}$$

Sustituyendo 2-11 en 2-23 obtenemos la magnitud de la fuerza T

$$\begin{aligned}
 T &= \int_{r_1}^r \left[\frac{P}{A} + \frac{M_x (A - r U)}{A r (\bar{r} U - A)} \right] dA \\
 &= \frac{P}{A} \int_{r_1}^r dA + \frac{M_x}{\bar{r} U - A} \int_{r_1}^r \frac{dA}{r} - \frac{M_x U}{A (\bar{r} U - A)} \int_{r_1}^r dA \\
 T &= \frac{A'}{A} P + \frac{A U' - A' U}{A (\bar{r} U - A)} M_x \tag{2-25}
 \end{aligned}$$

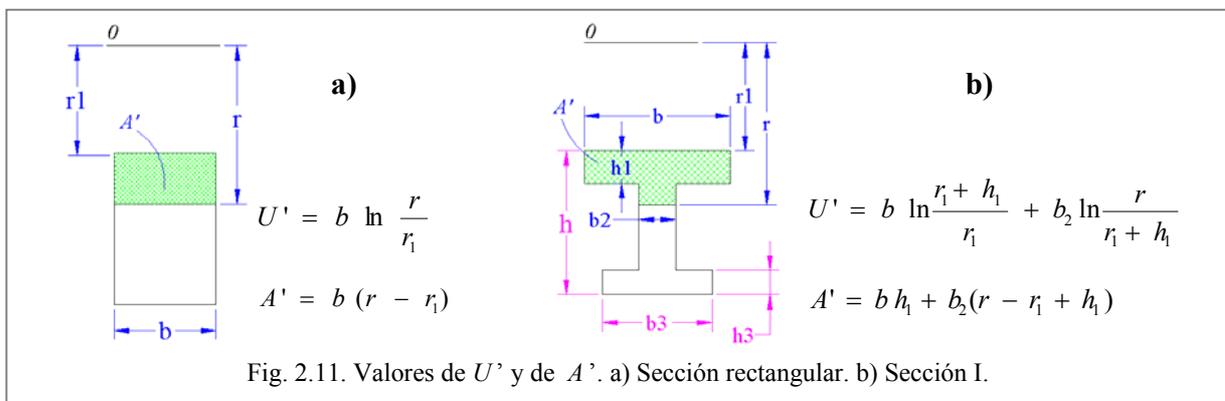
donde

$$U' = \int_{r_1}^r \frac{dA}{r} \quad \text{y} \quad A' = \int_{r_1}^r dA \tag{2-26}$$

Sustituyendo 2-25 en 2-24 obtenemos la expresión para el esfuerzo radial σ_r [3]

$$\sigma_r = \frac{1}{A t r} \left[A' P + \frac{A U' - A' U}{\bar{r} U - A} M_x \right] \tag{2-27}$$

Debe ponerse especial atención en que las expresiones 2-26 son integrales comprendidas entre el radio inicial r_1 y el radio de la fibra a analizar r (ver Fig. 2.10 b). Ejemplos de los valores de U' y de A' para una sección simple y una compuesta son mostrados en la figura 2.11.



SUMARIO.

En el desarrollo del programa se utilizarán las ecuaciones 2-11, 2-12, 2-27 y las contenidas en la tabla 2.1, además de dos expresiones correspondientes al momento flexionante, las cuales se muestran en el siguiente capítulo.

REFERENCIAS.**[1] DESARROLLO DE SOFTWARE PARA LA REALIZACIÓN DE CÁLCULOS EN INGENIERÍA MECÁNICA**

Juan Pedro Pacheco Muñoz. IPN-ESIME-UPA. México, 2005.

Páginas 3-5, 91-94.

[2] MECÁNICA DE MATERIALES

Russell Charles Hibbeler. Ed. Prentice Hall. México, tercera edición.

Páginas 328-332.

[3] ADVANCED MECHANICS OF MATERIALS

Arthur Peter Boresi. Ed. John Wiley and Sons, Inc. E.U.A. Sexta Ed.

Capítulo 9.

[4] DISEÑO DE MÁQUINAS

Hall, Hollowenko y Laughlin. Ed. McGraw-Hill. México, 1988.

Páginas 27 y 28.

Capítulo 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA

Capítulo 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA

Como primer paso en el desarrollo de VCURVA fue necesario definir qué es lo que el programa haría, hasta dónde lo haría y cómo lo haría. Los dos primeros puntos son conocidos como *alcances* y el tercero es la *estructuración* de la aplicación.

3.1 ALCANCES.

3.1.1 Función.

De acuerdo al segundo objetivo propuesto para este trabajo, VCURVA calcula esfuerzos normales circunferenciales y radiales.

3.1.2 Tipos de secciones incluidas.

Considerando aspectos didácticos y prácticos, los tipos de secciones contempladas son:

Simples: Rectangular, triangular, circular, elipsoidal.

Compuestas: Trapezoidal, "T", "I", tubular rectangular, tubular circular, tubular elipsoidal, y una sección típica en ganchos que está compuesta de una semielipse, un trapecio, y un sector circular. En adelante dicha sección será llamada "compuesta gancho" (Fig. 3.1)

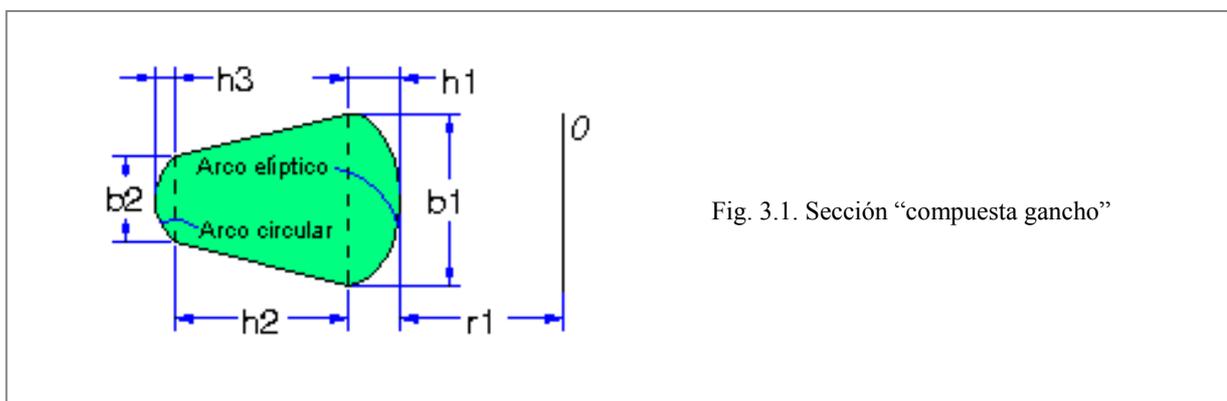


Fig. 3.1. Sección "compuesta gancho"

3.1.3 Ecuaciones.

Conforme a lo establecido en 3.1.1, en primer lugar han sido incluidas las ecuaciones 2-11 para el cálculo del esfuerzo circunferencial, y 2-27 para el esfuerzo radial. Dichas ecuaciones tienen a su vez variables como A , \tilde{r} y U . Los valores de estas variables han sido tomados de la tabla 2.1.

El cálculo de las cantidades A' y U' también se basa en la combinación de las ecuaciones de la tabla 2.1 con el proceso descrito en 3.2.2.1.

Las variables P , r y t , así como las dimensiones de la sección transversal, son datos proporcionados directamente al programa.

El cálculo del esfuerzo radial ha sido considerado para las secciones rectangular, "I", "T", y tubular rectangular, ya que estas secciones son las que pueden presentar valores elevados de dicho esfuerzo si su alma es delgada en comparación con su espesor. Por otra parte, el momento flexionante depende del tipo de viga a analizar. La ecuación para el cálculo de M_x será mostrada en el siguiente punto.

3.1.4 Tipos de vigas.

Han sido considerados dos tipos:

Gancho de malacate. Este tipo de viga curva está sometido a una carga vertical P . La ecuación del momento flexionante correspondiente es mostrada en la figura 3.2.

Viga genérica. Representa a la mayoría de los casos de vigas curvas. Este elemento se encuentra empotrado en uno de sus extremos. En el otro extremo está aplicada una carga P con un ángulo θ de inclinación, y un momento flexionante M_0 . La viga genérica tiene además dos tramos rectos de longitudes $L1$ y $L2$. La ecuación del momento flexionante para este tipo de viga es mostrada en la figura 3.3.

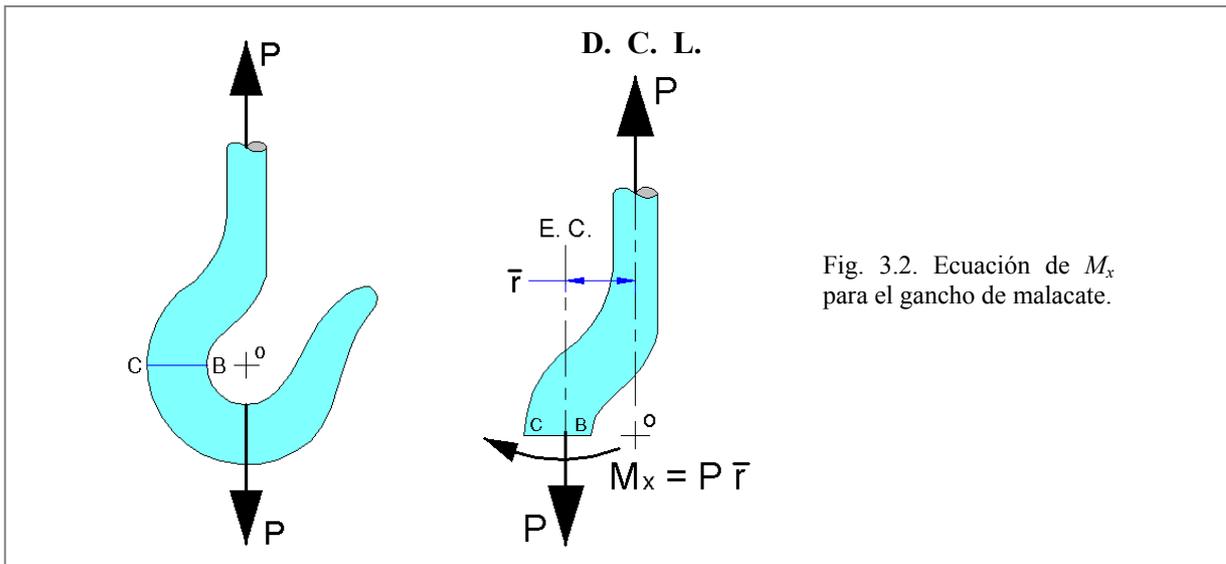


Fig. 3.2. Ecuación de M_x para el gancho de malacate.

La dirección, y por lo tanto el signo del momento M_x , en principio no están definidos debido a que no se sabe si la suma de los momentos M_o y $(\bar{r} + L2) P \cos \theta$ (considerados como positivos) es mayor al momento ocasionado por $\bar{r} P \sin \theta$. El signo de este momento se define al tomar en el programa los valores de P , M_o , $L2$ y θ , y al determinar \bar{r} .

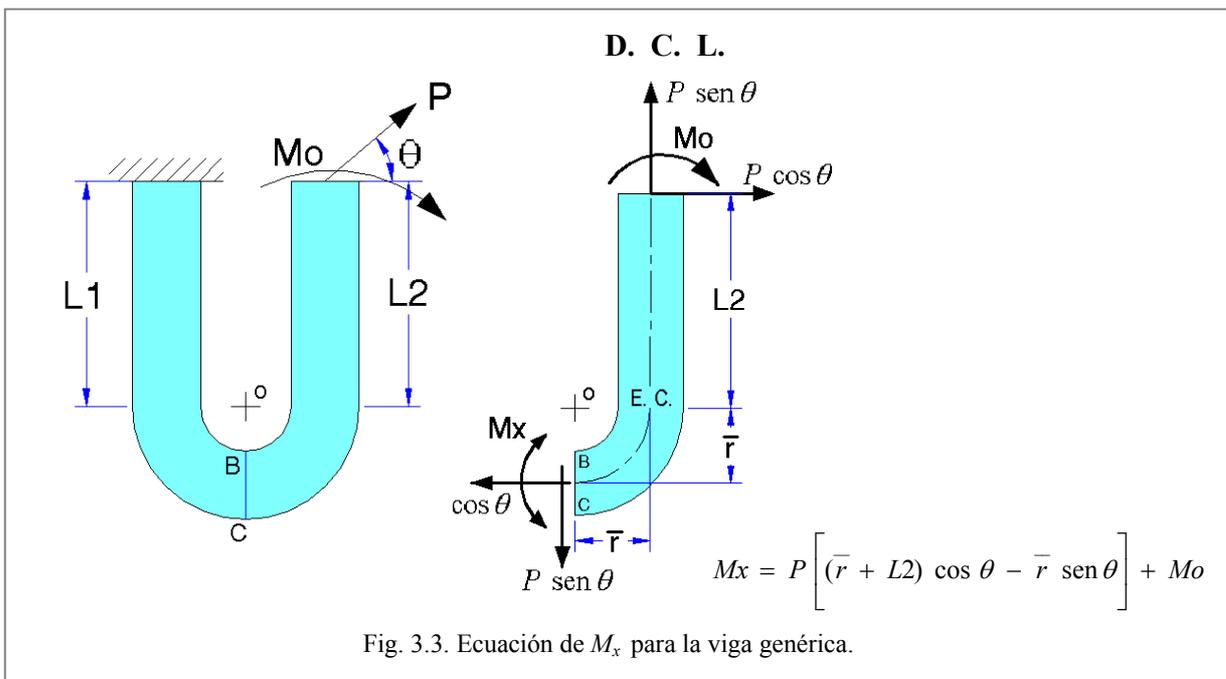


Fig. 3.3. Ecuación de M_x para la viga genérica.

3.1.5 Sistemas de unidades.

Es conveniente su uso con la finalidad de agilizar cálculos. Los sistemas a emplear son:

Sistema internacional (SI).

Carga	kN
Momentos	kN-m
Ángulo θ	grados ($^{\circ}$)
Longitudes y U	mm
Área	mm ²
Esfuerzos	MPa

Sistema Inglés.

Carga	kip
Momentos	kip-in ó kip-ft
Ángulo θ	grados ($^{\circ}$)
Longitudes y U	in
Área	in ²
Esfuerzos	ksi

Con la finalidad de aumentar la accesibilidad del programa, también se ha dado la posibilidad de hacer los cálculos de forma adimensional (ver punto 3.2.1.6).

3.2 ESTRUCTURACIÓN.

En este punto es detallado el cómo el programa lleva a cabo las funciones proyectadas en los *alcances*. El proceso de estructuración se divide en dos partes:

1. Desarrollo de la interfase gráfica
2. Desarrollo del código enfocado a cálculos

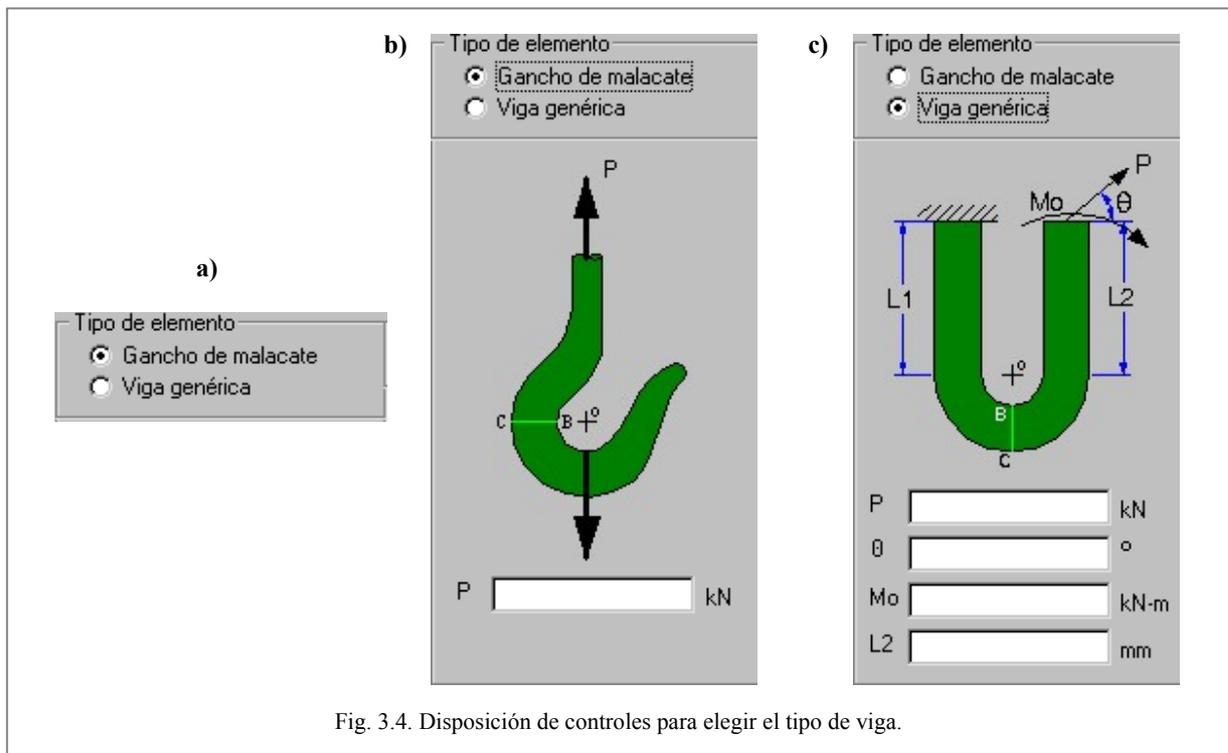
En el primer punto se disponen los controles que lleva el formulario, sus propiedades, y se programa su funcionamiento basándose en los eventos que pueden ocurrirles.

En el segundo punto se programa el código fuente relacionado con el procesamiento de datos y obtención de resultados.

3.2.1 Desarrollo de la interfase gráfica.

3.2.1.1 Tipos de vigas.

Lo primero que se hizo fue disponer y programar la selección del tipo de viga a calcular (punto 3.1.4). Esto se llevó a cabo utilizando tres Frames. En el primer Frame se dispusieron dos OptionButtons de tal forma que al dar click sobre uno de ellos se elige el tipo de viga (ver Fig. 3.4 a). En el segundo Frame fue insertado un control Image (que muestra un gancho de malacate típico, Fig. 3.2), una TextBox para introducir el valor de la carga P , una Label para indicar que la variable que se pide es P y otra para mostrar las unidades en que debe ser introducido su valor (Fig. 3.4 b). En el tercer Frame también se insertó un control Image que muestra la viga genérica (Fig. 3.3), cuatro TextBoxes para introducir los valores P , θ , M_o y $L2$, cuatro Labels para indicar los nombres de las variables, y otras cuatro para especificar las unidades (Fig. 3.4 c).



Los Frames 2 y 3 se colocaron de forma superpuesta en el formulario y se escribió el código necesario para mostrar uno u otro dependiendo del `OptionButton` escogido en el Frame 1 (ver procedimiento `Cargalmagen1` en Apéndice).

3.2.1.2 Tipo de sección.

Para seleccionar el tipo de sección se dispusieron dos Frames (`Frame6` y `Frame14`). Dentro de `Frame6` se colocó una `Label` cuya `Caption` es “Tipo de sección” (ver Fig. 3.5 a), y al lado de esta un `ComboBox` (`Combo1`) donde se introdujeron en su propiedad `List` los nombres de las secciones transversales especificados en 3.1.2.

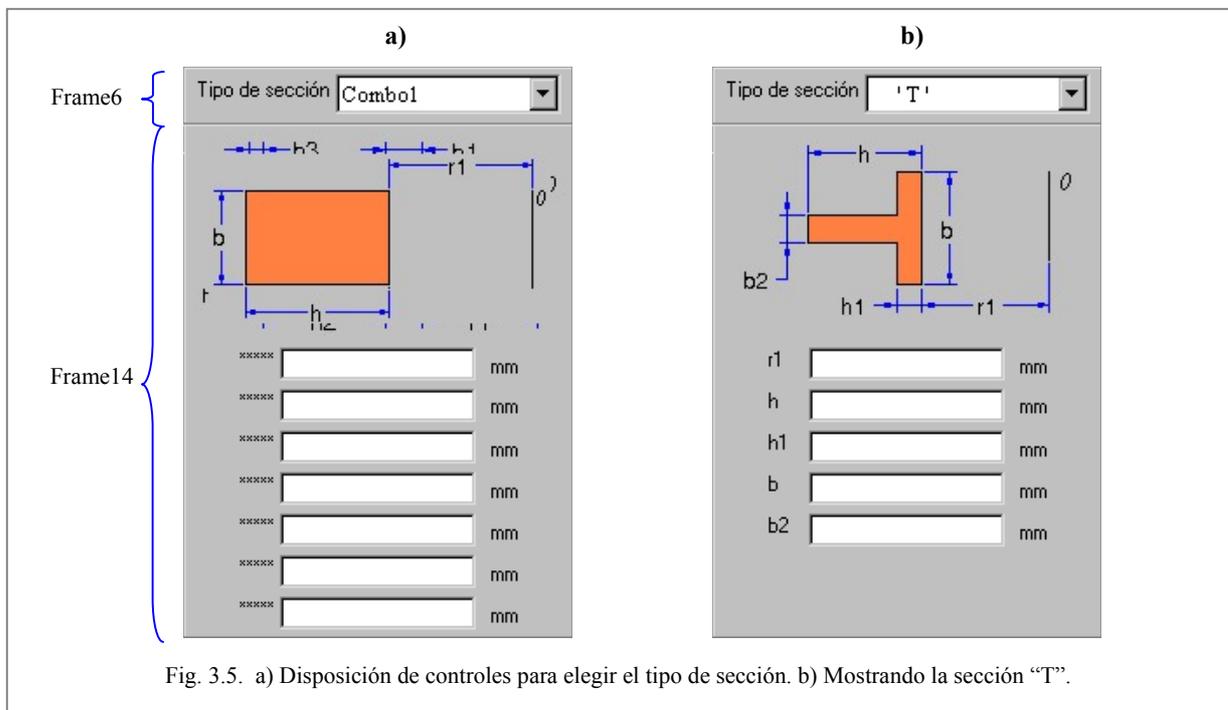


Fig. 3.5. a) Disposición de controles para elegir el tipo de sección. b) Mostrando la sección “T”.

En `Frame14` fueron colocados once controles `Image`, uno para cada tipo de sección (Fig. 3.6). También se insertaron siete `TextBoxes` (para tomar las dimensiones de la sección), siete `Labels` para indicar qué dimensión se pide, y otras siete para especificar las unidades.

Por medio de código asociado al tipo de sección escogida en el `ComboBox` se controla la imagen que debe ser desplegada, las propiedades `Caption` y `ToolTipText` de las

Labels que indican los nombres de las dimensiones, y la propiedad Visible de todas las TextBoxes y Labels contenidas en Frame14 (ver procedimiento Cargalmagen2 en Apéndice). En la figura 3.5 b se muestra el efecto de este código en los controles anteriormente citados al seleccionar la sección “T”.

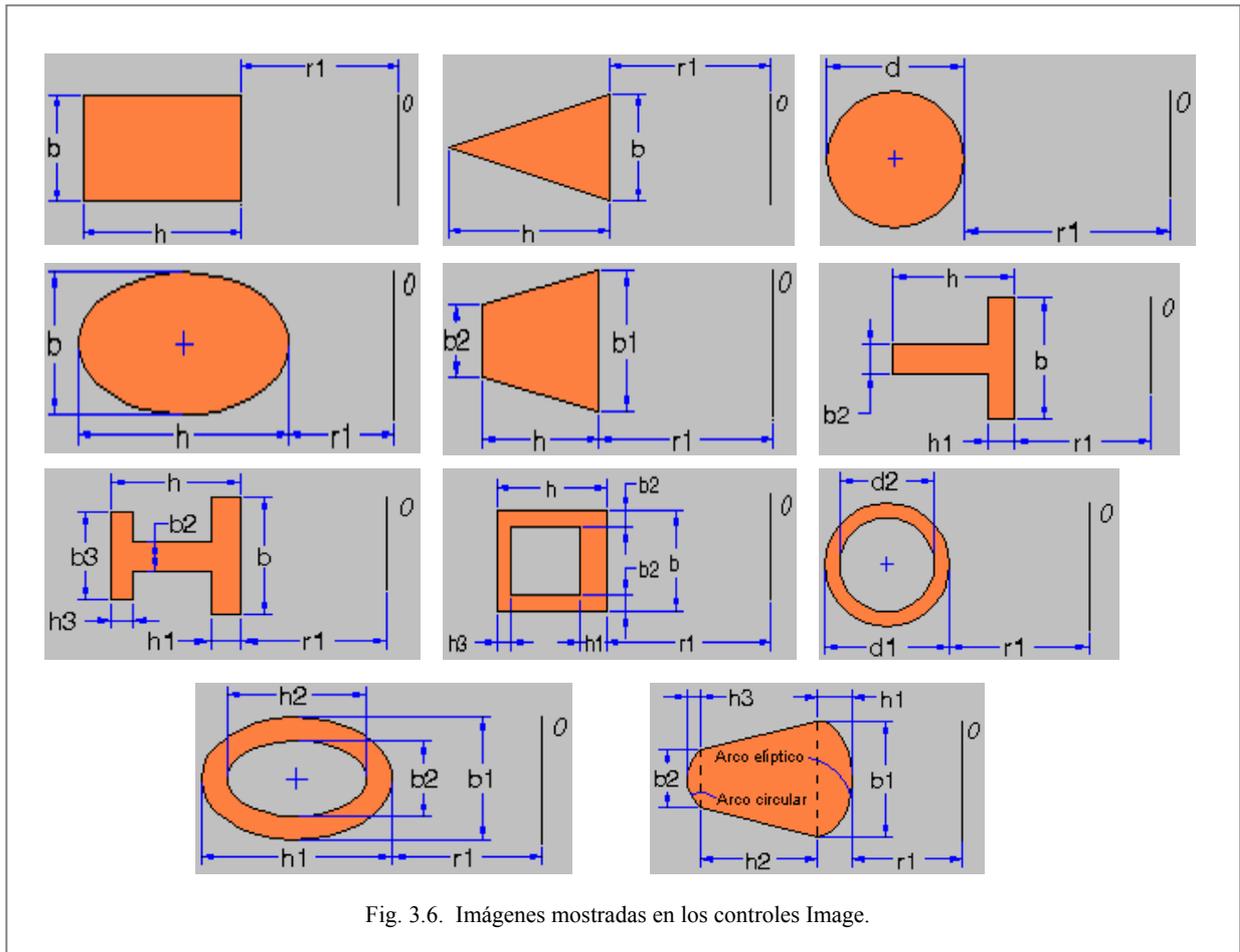
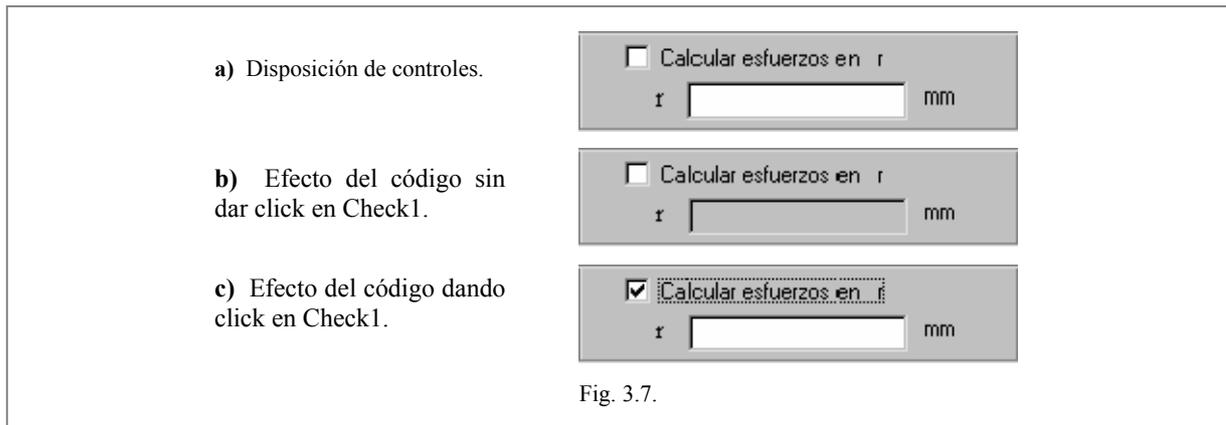


Fig. 3.6. Imágenes mostradas en los controles Image.

3.2.1.3 Evaluación de esfuerzos en r .

Con la finalidad de tomar el valor de la distancia r , fue necesaria la inserción de una TextBox y dos Labels. Además se incluyó una CheckBox (Check1) y se programó código asociado a su evento click para que esta controle las propiedades Enabled y Color de la TextBox (Ver Fig. 3.7 a y procedimiento Cargalmagen1 en Apéndice). De esta forma la evaluación de esfuerzos a la distancia r es opcional.



3.2.1.4 Controles para mostrar resultados.

Básicamente se trata de trece TextBoxes (cuyo color ha sido cambiado a verde agua para localizarlas con mayor facilidad), trece Labels que indican las unidades, ocho Labels que muestran los nombres de las variables resultado, y cinco controles Image que tienen la misma función (Fig. 3.8 a). La razón de haber utilizado estos últimos es que si se requiere combinar caracteres como σ con letras del alfabeto castellano, esto no es posible utilizando una sola Label, pero si se puede usar un solo control Image que muestre una imagen previamente creada en un editor de texto o de ecuaciones.

En referencia a la evaluación de esfuerzos en r , se escribió código asociado al evento click de Check1 para deshabilitar las TextBoxes que muestran resultados relacionados con esta distancia (TextBoxes en color gris, Fig. 3.8 b y c. Ver también procedimiento Cargalmagen1 en Apéndice).

Las variables resultado proyectadas son:

\checkmark	Radio centroidal
R	Radio de curvatura
e	Excentricidad
A	Área
U	$\int dA / r$
Mx	Momento flexionante
$\sigma_{\theta}(r)$	Esfuerzo circunferencial a la distancia r

$\sigma_{\theta}(A)$	Esfuerzo circunferencial en el punto B (ver Fig. 3.4 b y c)
$\sigma_{\theta}(B)$	Esfuerzo circunferencial en el punto C (ver Fig. 3.4 b y c)
t	Ancho de fibra
A'	Área de r1 a r (ver Fig. 2.10 b y 2.11)
U'	$\int_{r_1}^r dA / r$
$\sigma_r(r)$	Esfuerzo radial a la distancia r

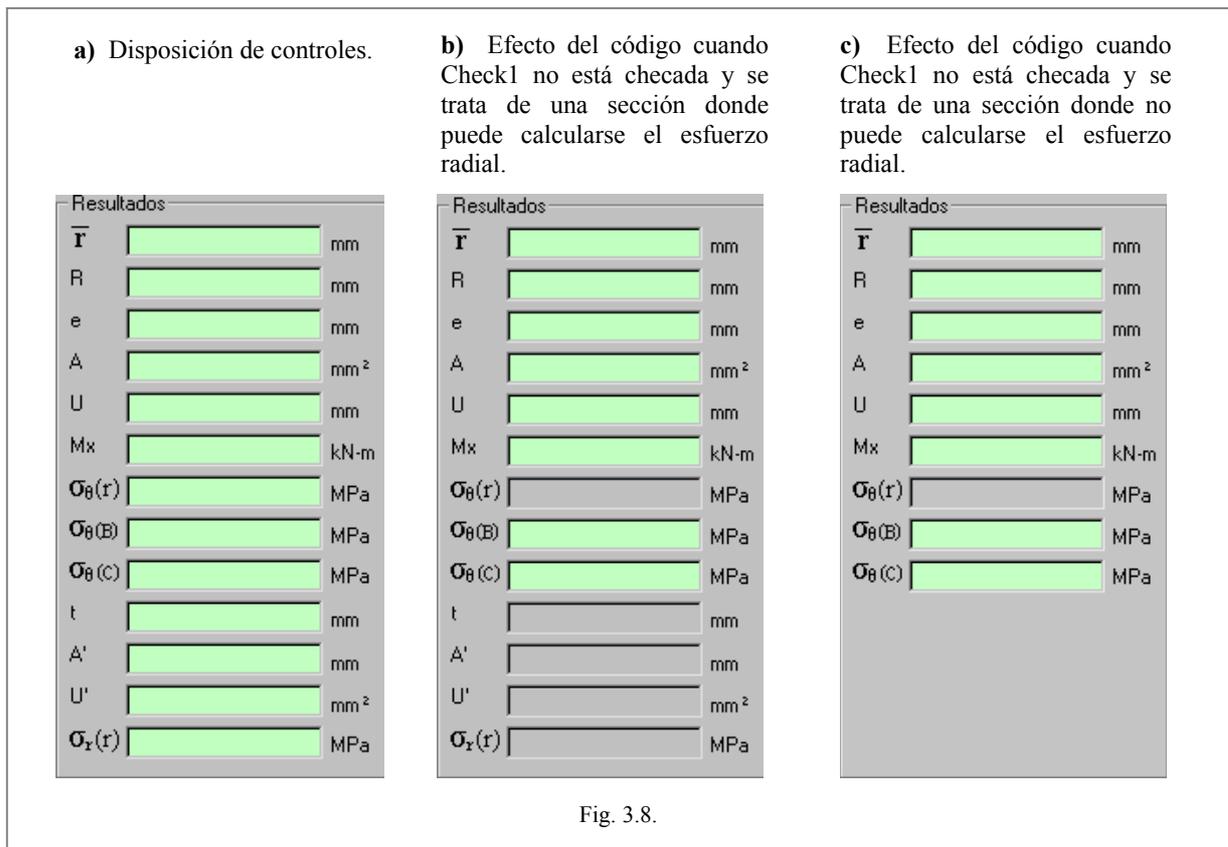


Fig. 3.8.

Conforme a lo especificado en 3.1.3, el esfuerzo radial es calculado solo si se trata de una sección rectangular, “T”, “I”, ó tubular rectangular. En secciones distintas de estas no tiene caso mostrar los controles referentes a t, A', U' y $\sigma_r(r)$, ya que estas variables están relacionadas con dicho esfuerzo. Para mostrar u ocultar los controles, según sea el caso, se escribió código asociado al evento click de Combo1, puesto que ahí es donde se selecciona el tipo de sección (Ver procedimiento Cargalmagen1 en Apéndice). El efecto de este código puede verse en las figuras 3.8 b y c.

3.2.1.5 Botón Borrar.

Cuando se hacen varios cálculos, resulta conveniente un botón que borre el contenido de las TextBoxes a fin de que no quede algún valor “residual” entre un cálculo y otro.



Fig. 3.9. Botón Borrar.

El botón dispuesto es un CommandButton (Command1) cuya propiedad Caption se cambió a “Borrar”. Para borrar los valores en las TextBoxes se escribió código asociado a su evento click (Ver procedimiento Command1_Click() en Apéndice).

3.2.1.6 Menú de la aplicación.

Este fue desarrollado utilizando el editor de menús [1]. Las opciones contempladas en la creación de este menú se muestran en la figura 3.10.

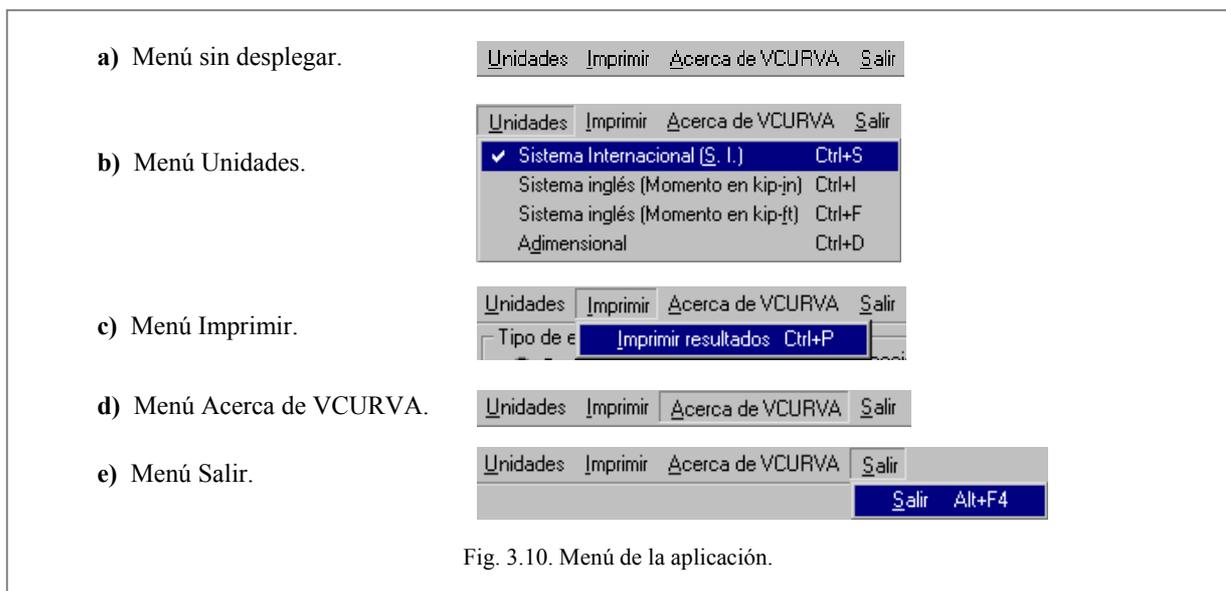


Fig. 3.10. Menú de la aplicación.

Menú Unidades. Al dar click sobre una de sus opciones se escoge (Fig. 3.10 b) el sistema de unidades a utilizar. Los procedimientos (códigos) asociados a las opciones del menú Unidades son:

Sistema Internacional	SI_Click()
Sistema inglés (Momento en Kip-in)	BS1_Click()
Sistema inglés (Momento en Kip-ft)	BS2_Click()
Adimensional	ADIM_Click()

En general, las instrucciones contenidas en estos procedimientos son: Marcar con palomita la opción escogida, desmarcar las otras opciones, llamar al procedimiento CUnidades (el cual asigna la propiedad Caption de las Labels previstas para mostrar las unidades y los factores de conversión de acuerdo al sistema de unidades elegido), y llamar a los procedimientos DESBORD y CALCULUS (que serán vistos posteriormente).

Menú Imprimir. Tiene una sola opción (Fig. 3.10 c). El procedimiento asociado a esta opción es Imprimir1_Click(). En este procedimiento hay instrucciones para preguntar si se confirma la impresión, en caso de que sea confirmada se manda a imprimir el formulario excepto la barra de título [2]. Si la impresora no está lista aparece un mensaje en pantalla indicándolo.

Menú Acerca de VCURVA. No tiene opciones (Fig. 3.10 d). Esto significa que al dar click sobre él se ejecuta el procedimiento Acercade_Click(), que tiene solo dos instrucciones. La primera llama al formulario Acerca (Fig. 3.11). Este formulario muestra datos del software como el nombre, versión, descripción, desarrollador e institución. La segunda instrucción hace visible al formulario cuando este es llamado.

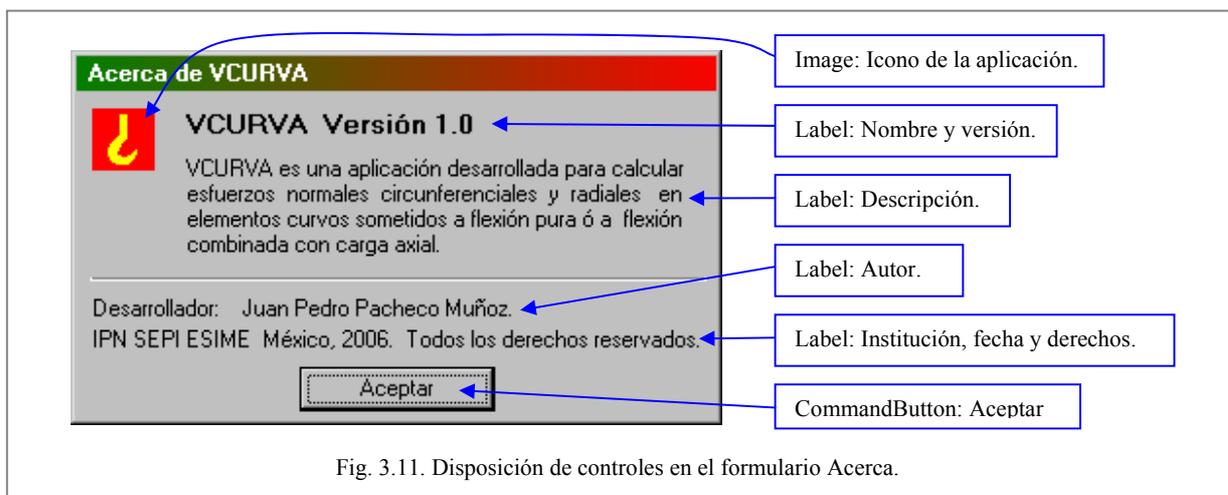


Fig. 3.11. Disposición de controles en el formulario Acerca.

El código asociado al formulario acerca es el siguiente:

<pre>Private Sub cmdOK_Click() Unload Me --> Descargar formulario Acerca. End Sub</pre>	}	<p>Procedimiento asociado al evento click del CommandButton. Cuando se da click sobre el botón Aceptar el formulario es cerrado.</p>
<pre>Private Sub Form_Deactivate() Beep --> Hacer ruido con el altavoz. Acerca.Show --> Mantener al formulario visible. End Sub</pre>	}	<p>Procedimiento asociado al evento deactivate del formulario. Este evento ocurre cuando el formulario pasa a segundo plano. La segunda instrucción sirve para mantener al formulario en primer plano hasta que este sea cerrado.</p>

Menú Salir. Tiene una sola opción (Fig. 3.10 e). Dando click sobre ella se ejecuta el proceso Salir1_Click() (ver Apéndice). La ejecución de este código cierra la aplicación.

3.2.1.7 Asignación de los valores contenidos en las TextBoxes a variables.

Previamente a esta acción ha sido necesario escribir código para evitar errores de desbordamiento, los cuales se producen por introducir cantidades excesivamente grandes en las TextBoxes, por ejemplo 1E99. La forma elegida para hacerlo es que una vez leído el valor contenido en la TextBox se evalúa si este valor es mayor que una cantidad predeterminada, en caso de que así sea se cambia el valor contenido por la cantidad predeterminada (Ver procedimiento DESBORD en Apéndice).

La toma de los valores de las TextBoxes contenidas en los Frames 2 y 3 (ver punto 3.2.1.1), ya que solo uno de ellos es visible en tiempo de ejecución, se ha hecho de forma condicional. Si Frame2 es visible entonces el valor de la TextBox contenida en él es asignado a la variable P , en caso contrario los valores de las TextBoxes contenidas en Frame3 son asignados a las variables P , Z , Mo y $L2$, donde el valor de Z es convertido a radianes.

La asignación de valores en las TextBoxes contenidas en Frame14 (ver punto 3.2.1.2), a excepción del radio inicial r_1 , se ha condicionado al tipo de sección elegido en Combo1 (Ver procedimiento DESBORD en Apéndice). Al ver el código asociado a esta asignación, podrá observarse que las variables son casi las mismas. Esto se ha hecho

con el objeto de minimizar variables y con ello reducir el espacio ocupado en memoria RAM.

La toma del valor del radio r es incondicional.

3.2.2 Desarrollo del código enfocado a cálculos.

3.2.2.1 Cálculo de los radios r_2 , \bar{r} , el área A y la integral U .

El cálculo de estas variables está determinado por el tipo de sección escogido. Las ecuaciones utilizadas se encuentran en la tabla 2.1.

Con la finalidad de no pedir el valor de r_2 , este se determina en función de la altura equivalente (total) de la sección y del radio r_1 .

A continuación se muestra la secuencia de cálculos para cada tipo de sección.

Sección rectangular.

- Cálculo de r_2 , $r_2 = r_1 + h$.
- Cálculo del radio centroidal, $\bar{r} = \frac{r_1 + r_2}{2}$.
- Cálculo del área, $A = b (r_2 - r_1)$.
- Cálculo de U , $U = b \ln \frac{r_2}{r_1}$. Previsión de errores de división por cero y de argumento no válido.

Sección triangular.

- Cálculo de r_2 , $r_2 = r_1 + h$.
- Cálculo del radio centroidal, $\bar{r} = \frac{2 r_1 + r_2}{3}$.
- Cálculo del área, $A = \frac{b}{2} (r_2 - r_1)$.
- Cálculo de U , $U = \frac{b r_2}{r_2 - r_1} \ln \frac{r_2}{r_1} - b$. Previsión de errores de división por cero y de argumento no válido.

Sección circular.

- El valor de altura equivalente que se pide en la aplicación es el diámetro. Las ecuaciones están en función del radio. Para no modificarlas el valor de la altura equivalente es recalculado, $h = h / 2$.
- Cálculo del radio centroidal, $\check{r} = r_1 + h$.
- Cálculo de r_2 , $r_2 = \check{r} + h$.
- Cálculo del área, $A = \pi h^2$.
- Cálculo de U , $U = 2 \pi \left(\bar{r} - \sqrt{\bar{r}^2 - h^2} \right)$. Previsión de error de argumento no válido.

Sección elipsoidal.

- Los valores equivalentes de base y altura que se piden en la aplicación son el doble de los requeridos en las ecuaciones. Para no modificarlas los valores equivalentes son recalculados, $b = b / 2$, $h = h / 2$.
- Cálculo del radio centroidal, $\check{r} = r_1 + h$.
- Cálculo de r_2 , $r_2 = \check{r} + h$.
- Cálculo del área, $A = \pi b h$.
- Cálculo de U , $U = \frac{2 \pi b}{h} \left(\bar{r} - \sqrt{\bar{r}^2 - h^2} \right)$. Previsión de errores de división por cero y de argumento no válido.

Sección trapezoidal.

- Cálculo de r_2 , $r_2 = r_1 + h$.
- Cálculo del radio centroidal, $\bar{r} = \frac{r_1 (2 b_1 + b_2) + r_2 (b_1 + 2 b_2)}{3 (b_1 + b_2)}$. Previsión de error de división por cero.
- Cálculo del área, $A = \frac{1}{2} (b_1 + b_2) (r_2 - r_1)$.
- Cálculo de U , $U = \frac{b_1 r_2 - b_2 r_1}{r_2 - r_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + b_2 - b_1$. Previsión de errores de división por cero y de argumento no válido.

Sección "T".

- Cálculo de r_2 , $r_2 = r_1 + h$.
- Cálculo del radio centroidal, $\bar{r} = r_1 + \frac{(b - b_2) h_1^2 + b_2 h^2}{2 [(b - b_2) h_1 + b_2 h]}$. Previsión de error de división por cero.
- Cálculo del área, $A = b h_1 + b_2 (h - h_1)$.
- Cálculo de U , $U = b \ln \frac{r_1 + h_1}{r_1} + b_2 \ln \frac{r_1 + h}{r_1 + h_1}$. Previsión de errores de división por cero y de argumento no válido.

Sección "I".

- Cálculo de r_2 , $r_2 = r_1 + h$.
- Cálculo del radio centroidal, $\bar{r} = r_1 + \frac{\frac{1}{2} h^2 b_2 + \frac{1}{2} h_1^2 (b - b_2) + (b_3 - b_2) h_3 (h - \frac{1}{2} h_3)}{(b - b_2) h_1 + (b_3 - b_2) h_3 + b_2 h}$. Previsión de error de división por cero.
- Cálculo del área, $A = b h_1 + b_2 (h - h_1 - h_3) + b_3 h_3$.
- Cálculo de U , $U = b \ln \frac{r_1 + h_1}{r_1} + b_2 \ln \frac{r_1 + h - h_3}{r_1 + h_1} + b_3 \ln \frac{r_1 + h}{r_1 + h - h_3}$. Previsión de errores de división por cero y de argumento no válido.

Sección tubular rectangular.

- Cálculo de r_2 , $r_2 = r_1 + h$.
- Cálculo del radio centroidal, $\bar{r} = r_1 + \frac{h^2 b_2 + (b - 2 b_2) [\frac{1}{2} h_1^2 + h_3 (h - \frac{1}{2} h_3)]}{2 b_2 h + (b - 2 b_2) (h_1 + h_3)}$. Previsión de error de división por cero.
- Cálculo del área, $A = b (h_1 + h_3) + 2 b_2 (h - h_1 - h_3)$.
- Cálculo de U , $U = b \ln \frac{r_1 + h_1}{r_1} + 2 b_2 \ln \frac{r_1 + h - h_3}{r_1 + h_1} + b \ln \frac{r_1 + h}{r_1 + h - h_3}$. Previsión de errores de división por cero y de argumento no válido.

Sección tubular circular.

- Los valores de alturas equivalentes requeridos en la aplicación son los diámetros interior y exterior. Las ecuaciones están en función de radios. Para no modificarlas los valores de alturas equivalentes son recalculados, $h_1 = h_1 / 2$, $h_2 = h_2 / 2$.
- Cálculo del radio centroidal, $\check{r} = r_1 + h_1$.
- Cálculo de r_2 , $r_2 = \check{r} + h_1$.
- Cálculo del área, $A = \pi (h_1^2 - h_2^2)$.
- Cálculo de U , $U = 2 \pi \left(\sqrt{\bar{r}^2 - h_2^2} - \sqrt{\bar{r}^2 - h_1^2} \right)$. Previsión de error de argumento no válido.

Sección tubular elipsoidal.

- Los valores equivalentes de base y altura interiores y exteriores que se piden en la aplicación son el doble de los requeridos en las ecuaciones. Para no modificarlas los valores equivalentes son recalculados, $b_1 = h_1 / 2$, $b_2 = h_2 / 2$, $h_1 = h_1 / 2$, $h_2 = h_2 / 2$.
- Cálculo del radio centroidal, $\check{r} = r_1 + h_1$.
- Cálculo de r_2 , $r_2 = \check{r} + h_1$.
- Cálculo del área, $A = \pi (h_1 b_1 - h_2 b_2)$.
- Cálculo de U , $U = \frac{2 \pi b_1}{h_1} \left(\bar{r} - \sqrt{\bar{r}^2 - h_1^2} \right) - \frac{2 \pi b_2}{h_2} \left(\bar{r} - \sqrt{\bar{r}^2 - h_2^2} \right)$. Previsión de errores de división por cero y de argumento no válido.

Sección compuesta gancho.

- Cálculo de r_2 , $r_2 = r_1 + h_1 + h_2 + h_3$ (ver Fig. 3.1).
- Al ser una sección compuesta que no se encuentra en la tabla 2.1, el proceso del cálculo del área varía un poco. Lo que se hace en este caso es tomar las ecuaciones para áreas componentes de la tabla 2.1 y son aplicadas a la

expresión $A = \sum_{i=1}^n A_i$, donde A_i es el área de la i -ésima sección componente (capítulo 2, página 63).

- El cálculo del radio centroidal también varía. Las ecuaciones para áreas y radios centroidales de las secciones componentes son tomados de la tabla 2.1 y junto con el área total de la sección (calculada en el punto anterior) se aplican a la expresión 2-22. Previsión de error de división por cero.
- Cálculo de U , $U = \sum_{i=1}^n U_i$, donde U_i es la U de la i -ésima sección componente.

Los valores de U_i son tomados de la tabla 2.1. Previsión de errores de división por cero y de argumento no válido.

En los puntos anteriores se habla de prevención de errores de división por cero y de argumento no válido. Estos errores pueden generarse durante la ejecución del programa. Las formas para evitar estos errores son explicadas a continuación.

División por cero.

La división por cero se da cuando el denominador de una expresión es nulo. La forma de evitarlo es condicionar el cálculo de la expresión siempre y cuando el denominador sea distinto de cero.

Argumento no válido.

En VCURVA existen dos tipos de argumentos:

1. La cantidad dentro de una raíz cuadrada, por ejemplo $VARIABLE = \sqrt{ARGUMENTO}$. El error en este caso se presenta cuando ARGUMENTO es una cantidad negativa. La forma de evitarlo es condicionar a que la expresión sea evaluada siempre que ARGUMENTO sea mayor o igual que cero.
2. El argumento de un logaritmo, $VARIABLE = \ln[ARGUMENTO]$. El error se presenta cuando ARGUMENTO es menor o igual que cero. Condicionando la evaluación de la expresión a que ARGUMENTO sea mayor que cero evitamos este tipo de error.

Una vez calculados los valores de r_2 , \check{r} , A y U , estos son desplegados en las TextBoxes correspondientes. En general, la forma de desplegar los valores de las variables en VCURVA es

$$\text{Nombre_de_TextBox.Text} = \text{Format}(\text{Nombre_de_Variable}, "\###,\###0.0\###\###")$$

Donde Format es una función que da a la variable el formato especificado, en este caso separar los enteros cada tres cifras y dar hasta seis décimas. Al usar Format ya no es necesaria la función Str para presentar el valor de la variable en la TextBox [3].

3.2.2.2 Cálculo del momento M_x .

Depende del tipo de viga seleccionado. Si se trata del gancho de malacate, M_x es evaluado con la ecuación mostrada en la figura 3.2:

$$MX = P * RC * L_factor$$

donde L_factor es un factor de conversión cuyo objetivo es transformar las unidades de longitud del radio centroidal a una forma conveniente en el sistema utilizado.

Si se escoge la viga genérica, se emplea la ecuación de la figura 3.3:

$$MX = P * ((RC + L2) * \text{Cos}(Z) - RC * \text{Sin}(Z)) * L_factor + MO * M_factor$$

donde en este caso M_factor tiene la misma función que L_factor.

El despliegue del valor de M_x se hace de la siguiente forma:

$$\text{Text18.Text} = \text{Format}(MX / M_factor, "\###,\###0.0\###\###")$$

Obsérvese la presencia de la función Format y del factor de conversión M_factor, que al aplicarse sobre el valor de M_x le otorga unidades las cuales hacen más fácil su lectura (ver procedimiento CUnidades en Apéndice).

3.2.2.3 Cálculo del esfuerzo circunferencial.

Este esfuerzo es evaluado en tres puntos, de los cuales uno pertenece a la fibra que se encuentra a la distancia r del centro de curvatura y los otros dos son los puntos B y C

de las fibras extremas en la sección (Fig. 3.4 b y c). Los radios correspondientes a esos puntos son r_1 y r_2 respectivamente. El valor máximo que r puede tomar es r_2 , sin embargo en la Textbox asignada a r puede ser introducido cualquier valor del mismo, lo cual no es correcto. Para evitar la inserción de valores mayores que r_2 se ha escrito el siguiente código:

```
If R > R2 Then
    Text13.Text = Str(R2)
    R = Val(Text13.Text)
End If
```

El cual hace que al ser introducido un valor de r mayor que r_2 automáticamente sea desplegado el valor de r_2 en la TextBox Text13, que es la asignada a r .

Los esfuerzos circunferenciales son evaluados mediante la ecuación 2-11, a la cual se le han añadido factores de conversión de unidades. Así, el esfuerzo circunferencial a la distancia r está dado por

```
Text19.Text = Format((P / (L_factor ^ 2 * AREA) + MX * (AREA - R * U) / (L_factor ^ 3 * AREA * R * (RC * U - AREA))) * S_factor, "###,###0.0#####")
```

En esta instrucción se puede observar que en lugar de asignar el cálculo del esfuerzo a alguna variable y luego desplegar el valor de esta en la TextBox prevista para ello, lo que se ha hecho es desplegar directamente el resultado de la expresión en la TextBox. Con esto se ahorra una variable por cada valor de esfuerzo calculado. Nótese también la presencia del factor de conversión S_factor (referido al esfuerzo), y la función `Format`, que hace posible el desplegar el resultado de la expresión con el formato preestablecido. Las instrucciones para el cálculo y despliegado de valores de esfuerzos en los puntos B y C son:

```
Text20.Text = Format((P / (L_factor ^ 2 * AREA) + MX * (AREA - R1 * U) / (L_factor ^ 3 * AREA * R1 * (RC * U - AREA))) * S_factor, "###,###0.0#####")
```

```
Text21.Text = Format((P / (L_factor ^ 2 * AREA) + MX * (AREA - R2 * U) / (L_factor ^ 3 * AREA * R2 * (RC * U - AREA))) * S_factor, "###,###0.0#####")
```

En las dos instrucciones anteriores ha sido previsto el error de división por cero (ver punto 3.2.2.3). En la instrucción para calcular el esfuerzo a la distancia r , además de prever este error se ha agregado una restricción donde el esfuerzo es evaluado solo si el valor de r es mayor o igual a r_1 .

3.2.2.4 Cálculo del radio de curvatura y la excentricidad.

Las instrucciones para el cálculo del radio de curvatura y el desplegado de su valor en la TextBox correspondiente son:

```
RN = (AREA * MX) / (U * MX + P * (AREA - RC * U) * L_factor)
Text23.Text = Format(RN, "###,###0.0#####")
```

Donde previamente ha sido previsto el error de división por cero (punto 3.2.2.3).

Como fue visto en el capítulo 2, la excentricidad es la diferencia entre el radio centroidal y el de curvatura. El cálculo y desplegado de la excentricidad es realizado por la instrucción

```
Text26.Text = Format(RC - RN, "###,###0.0#####")
```

3.2.2.5 Cálculo del área parcial A' y de la integral U' .

Estas variables son utilizadas en el cálculo del esfuerzo radial. Ambas son funciones de r_1 y r . Las expresiones para su cálculo son tomadas de la tabla 2.1 y adecuadas a los intervalos posibles.

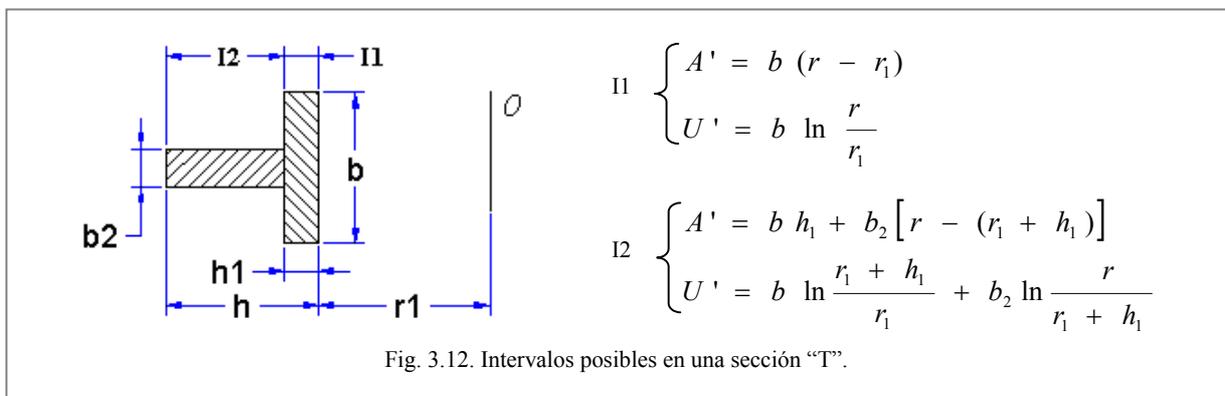


Fig. 3.12. Intervalos posibles en una sección "T".

La figura 3.12 muestra los intervalos posibles para una sección “T” y las expresiones de A' y U' correspondientes a cada intervalo. El número de intervalos es el número de veces que cambia el ancho de fibra en la sección más uno. De esta forma una sección rectangular tendrá un solo intervalo (t no cambia) y un juego de ecuaciones, y una sección “I” tendrá tres intervalos (t cambia dos veces) y tres juegos de ecuaciones.

Los intervalos tienen un efecto importante en la programación, ya que los cálculos de A' y U' no dependen únicamente del tipo de sección, además dependen del intervalo donde se encuentra la fibra en la que se evaluará el esfuerzo, esto es, del valor de r .

De acuerdo a lo anteriormente mencionado y a lo especificado en 3.1.3, las secciones contempladas y sus secuencias de cálculos son:

Sección rectangular.

- Cálculo del área, $A' = b (r - r_1)$.
- Cálculo de U , $U' = b \ln \frac{r}{r_1}$. Previsión de errores de división por cero y de argumento no válido.
- Asignación del ancho de fibra, $t = b$.

Sección “T”.

- Dependiendo del valor de r
 - a) Primer intervalo, $A' = b (r - r_1)$, $U' = b \ln \frac{r}{r_1}$, $t = b$.
 - b) Segundo intervalo, $A' = b h_1 + b_2 [r - (r_1 + h_1)]$, $U' = b \ln \frac{r_1 + h_1}{r_1} + b_2 \ln \frac{r}{r_1 + h_1}$,
 $t = b_2$.
- Previsión de errores de división por cero y de argumento no válido.

Sección “I”.

- Dependiendo del valor de r

- a) Primer intervalo, $A' = b (r - r_1)$, $U' = b \ln \frac{r}{r_1}$, $t = b$.
- b) Segundo intervalo, $A' = b h_1 + b_2 [r - (r_1 + h_1)]$, $U' = b \ln \frac{r_1 + h_1}{r_1} + b_2 \ln \frac{r}{r_1 + h_1}$,
 $t = b_2$.
- c) Tercer intervalo, $A' = b h_1 + b_2 (h - h_1 - h_3) + b_3 [r - (r_1 + h - h_3)]$,
 $U' = b \ln \frac{r_1 + h_1}{r_1} + b_2 \ln \frac{r_1 + h - h_3}{r_1 + h_1} + b_3 \ln \frac{r}{r_1 + h - h_3}$, $t = b_3$.
- Prevención de errores de división por cero y de argumento no válido.

Sección tubular rectangular.

- Dependiendo del valor de r

a) Primer intervalo, $A' = b (r - r_1)$, $U' = b \ln \frac{r}{r_1}$, $t = b$.

b) Segundo intervalo, $A' = b h_1 + 2 b_2 [r - (r_1 + h_1)]$,
 $U' = b \ln \frac{r_1 + h_1}{r_1} + 2 b_2 \ln \frac{r}{r_1 + h_1}$, $t = 2 b_2$.

c) Tercer intervalo, $A' = b h_1 + 2 b_2 (h - h_1 - h_3) + b [r - (r_1 + h - h_3)]$,
 $U' = b \ln \frac{r_1 + h_1}{r_1} + 2 b_2 \ln \frac{r_1 + h - h_3}{r_1 + h_1} + b \ln \frac{r}{r_1 + h - h_3}$, $t = b$.
- Prevención de errores de división por cero y de argumento no válido.

El despliegado de las variables calculadas se hace de la forma indicada en 3.2.2.1, página 87.

3.2.2.6 Cálculo del esfuerzo radial.

La evaluación del esfuerzo radial es realizada utilizando la ecuación 2-27, a la cual se han incorporado factores de conversión de unidades y se previsto el error de división por cero.

Al igual que en el cálculo del esfuerzo circunferencial, el valor de la expresión es asignado a la TextBox correspondiente:

```
Text22.Text = Format(((AP * P * L_factor ^ 2 + MX * L_factor * (AREA * UP - AP * U) / (RC * U - AREA)) / (AREA * T * R * L_factor ^ 4)) * S_factor, "###,###0.0#####")
```

REFERENCIAS.

- [1] VISUAL BASIC - GUÍA DEL ESTUDIANTE. Luis Suárez Bernaldo.
http://vigon.mvps.org/manuales/vb_guia.zip http://tec.upc.es/ie/practi/manual_VB/
- [2] ARCHIVO DE AYUDA DE MICROSOFT VISUAL BASIC 4.0
Office XP
- [3] FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN EN VISUAL BASIC. Danny A. Matta Gonzales.
<http://members.es.tripod.de/tutorial/index.html>

Capítulo 4

VERIFICACIÓN DEL PROGRAMA

Capítulo 4

VERIFICACIÓN DEL PROGRAMA

En este capítulo es verificado el correcto funcionamiento del programa mediante la comparación de los resultados obtenidos con VCURVA y los resultados de cálculos hechos de forma manual (llamados *pruebas de escritorio*), para diferentes tipos de carga y sección transversal. También se hace una validación con el programa ANSYS, donde este último se basa en el método del elemento finito (MEF). Los resultados de ambos métodos son validados a su vez con la teoría de la elasticidad.

Para la realización de las pruebas de escritorio serán utilizadas las ecuaciones de la tabla 2.1 en el cálculo de las propiedades de la sección, y las ecuaciones 2-11 y 2-27 en el cálculo de los esfuerzos circunferencial y radial respectivamente.

Se verificará el valor del radio de curvatura copiándolo a la TextBox que pide el valor de r y de esta forma será evaluado el esfuerzo circunferencial correspondiente R , el cual deberá ser nulo puesto que R localiza al eje neutro.

Los valores de las variables como A , U , etc., serán considerados correctos si los valores de los esfuerzos calculados con VCURVA coinciden o tienen poca variación con los obtenidos en las pruebas.

4.1 VERIFICACIÓN CON PRUEBAS DE ESCRITORIO.

4.1.1 Pruebas de escritorio.

En la tabla 4.1 se muestran los datos y los resultados de los cálculos hechos de forma manual, correspondientes a veintidós pruebas realizadas, dos para cada tipo de sección.

Tabla 4.1. Datos y resultados obtenidos del cálculo manual.

Sección	P	θ (°)	Mo	$L2$	r_1	Dimensiones	$\sigma_\theta(B)$	$\sigma_\theta(C)$	$\sigma_r(r)$
Rectangular	-	-	28.5 kip-in	-	9"	h = 2" b = 2"	22.9 ksi	-20.0 ksi	1.07 ksi r = 10"

Tabla 4.1. Datos y resultados obtenidos del cálculo manual (continuación).

Sección	P	θ (°)	Mo	$L2$	r_1	Dimensiones	$\sigma_{\theta}(B)$	$\sigma_{\theta}(C)$	$\sigma_r(r)$
Rectangular	9.5 KN	-	-	100 mm	30 mm	h = 50 mm b = 50 mm	106.2 MPa	-49.3 MPa	19.75 MPa r = 46 mm
Triangular	40 KN	-	-	120 mm	45 mm	h = 90 mm b = 60 mm	297.8 MPa	-238.1 MPa	
	8.99 kip	-	-	4.72''	1.77''	h = 3.54'' b = 2.36''	43.192 ksi	-34.533 ksi	
Circular	0.8 kip	-	-	-	2.5''	d = 1.25''	16.0 ksi	-10.6 ksi	
	46.1 N	-	-	50 mm	50 mm	d = 100 mm	120 MPa	-43.8 MPa	
Elipsoidal	-	-	50.0 N-m	-	100 mm	h = 150 mm b = 75 mm	0.446 MPa	-0.224 MPa	
	-	-	0.037 kip-ft	-	3.94''	h = 5.91'' b = 2.95''	0.0647 ksi	-0.0325 ksi	
Trapezoidal	-	-	0.6 kip-ft	-	8''	h = 2'' b1 = 1.5'' b2 = 0.5''	10.6 ksi	-12.7 ksi	
	7.34 KN	-	-	-	45 mm	h = 35 mm b1 = 25 mm b2 = 10 mm	150 MPa	-112.4 MPa	
"T"	-	-	24.54 KN-m	-	60 mm	h1 = 120 mm h2 = 20 mm b1 = 100 mm b2 = 20 mm	267 MPa	-280 MPa	193 MPa r = 80 mm
	0.276 kip	-	-	2''	1''	h1 = 1'' h2 = 0.125'' b1 = 0.75'' b2 = 0.125''	20.15 ksi	-24.5 ksi	10 ksi r = 1.125''
"I"	0.06 kip	-	-	-3.2''	12''	h = 6'' h2 = 0.5'' h3 = 0.5'' b = 3'' b2 = 0.5'' b3 = 3''	0.0944 ksi	-0.059 ksi	0.0204 ksi r = 12.5''
	0.267 KN	-	-	-81.28 mm	304.8 mm	h = 152.4 mm h2 = 12.7 mm h3 = 12.7 mm b = 76.2 mm b2 = 12.7 mm b3 = 76.2 mm	0.6509 MPa	-0.407 MPa	0.1408 MPa r = 317.5 mm

Tabla 4.1. Datos y resultados obtenidos del cálculo manual (continuación).

Sección	P	θ (°)	Mo	$L2$	r_1	Dimensiones	$\sigma_{\theta}(B)$	$\sigma_{\theta}(C)$	$\sigma_r(r)$
Tubular rectangular	-	-	350 kip-ft	-	15''	h = 5'' h1 = 0.5'' h3 = 0.5'' b = 5'' b2 = 0.5''	366 ksi	-321 ksi	51.75 ksi r = 15.5''
	110.8 KN	-	-	300 mm	70 mm	h = 240 mm h1 = 60 mm h3 = 0 mm b = 180 mm b2 = 30 mm	80 MPa	-43.347 MPa	49.48 MPa r = 130 mm
Tubular circular	-	-	0.025 kip-in	-	1''	h1 = 1.5'' h2 = 1.26''	0.204 ksi	-0.12 ksi	
	-	-	0.00282 KN-m	-	25.4 mm	h1 = 38.1 mm h2 = 32 mm	1.407 MPa	-0.827 MPa	
Tubular elipsoidal	-	-	0.025 kip-in	-	1''	h1 = 1.5'' h2 = 1.26'' b1 = 1.5'' b2 = 1.26''	0.204 ksi	-0.12 ksi	
	-	-	0.00282 KN-m	-	25.4 mm	h1 = 38.1 mm h2 = 32 mm b1 = 38.1 mm b2 = 32 mm	1.407 MPa	-0.827 MPa	
Compuesta gancho	190.9 KN	-	-	-	60 mm	h = 24 mm h2 = 100 mm h3 = 5 mm b1 = 88 mm b2 = 34 mm	249.88 MPa	-102.13 MPa	
	100 KN	-	-	-	65 mm	h = 31 mm h2 = 85 mm h3 = 13 mm b1 = 102 mm b2 = 63 mm	113.5 MPa	-43.6 MPa	

4.1.2 Resultados obtenidos con VCURVA.

Las pruebas aquí mostradas han sido realizadas de forma posterior al proceso de depuración del programa, lo que significa que se ha hecho un número de pruebas mucho mayor al presentado en este punto, siendo las pruebas hechas durante la depuración de enorme utilidad para corregir y optimizar el programa.

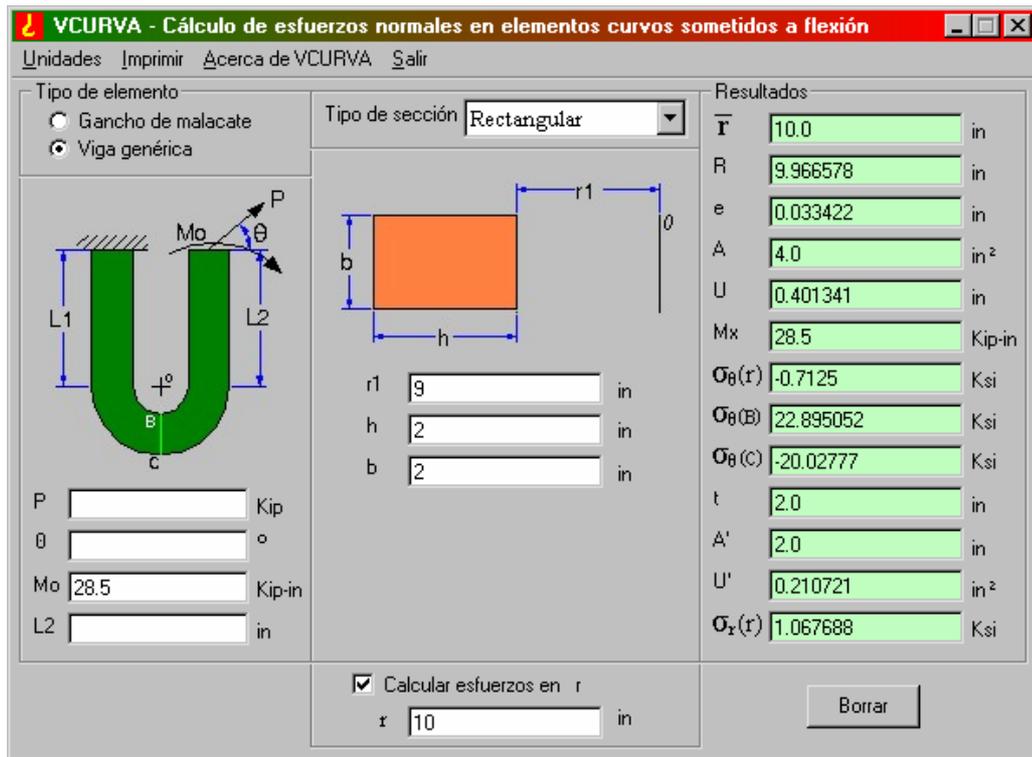


Fig. 4.1. Sección rectangular, prueba 1.

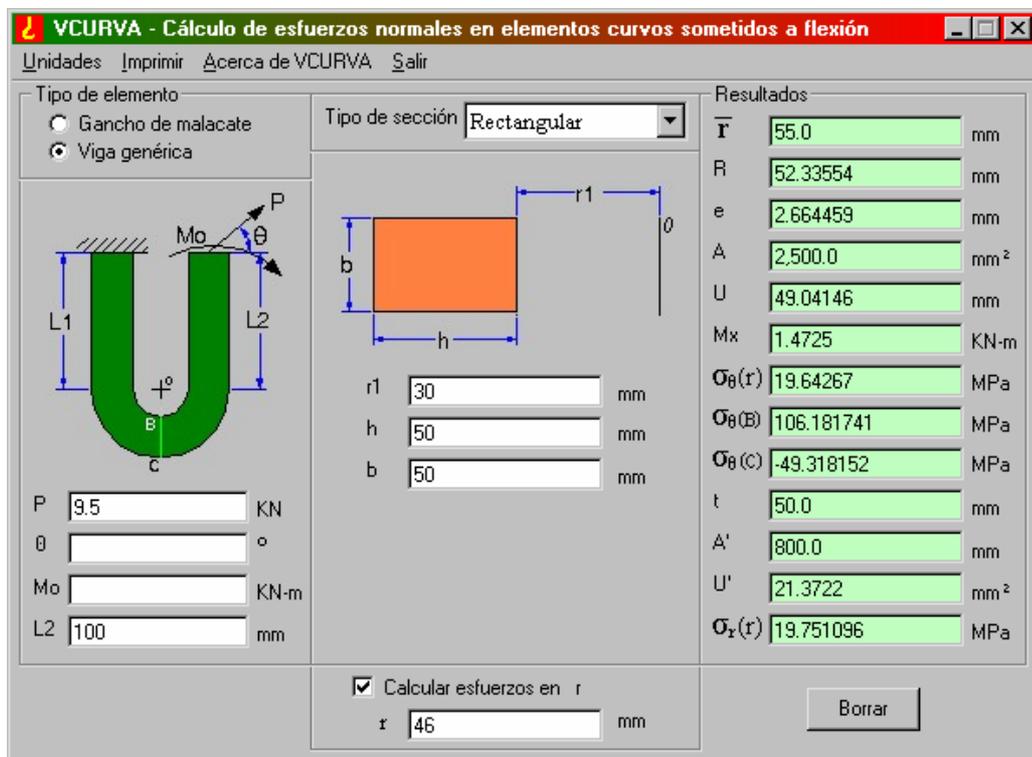


Fig. 4.2. Sección rectangular, prueba 2.

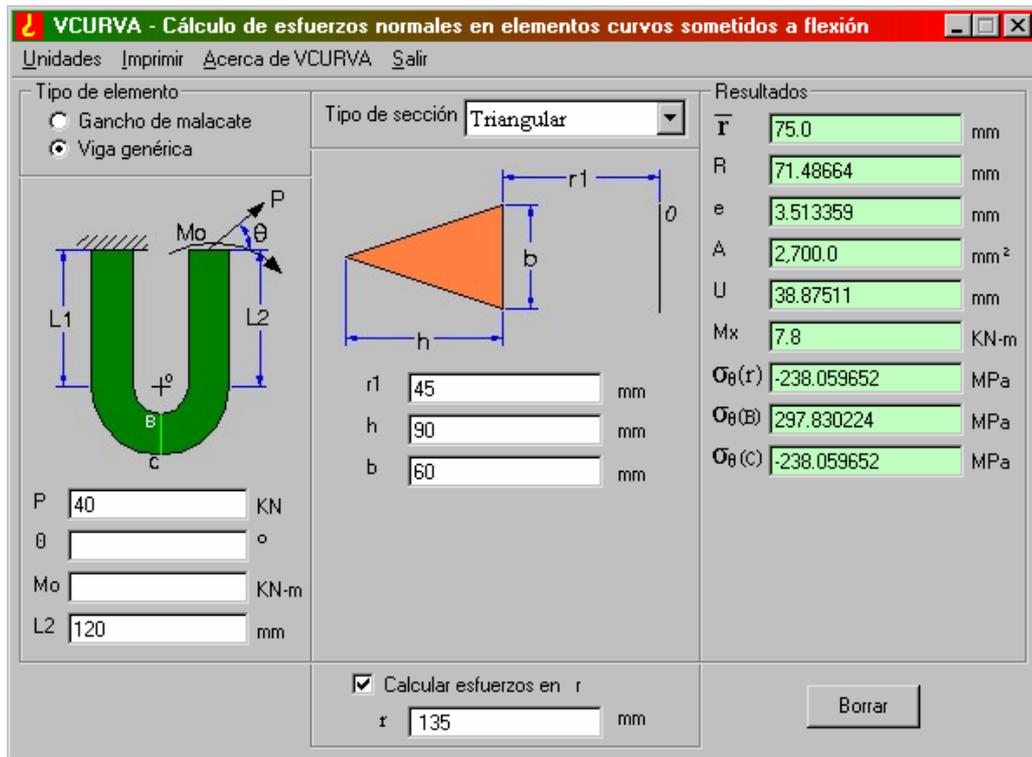


Fig. 4.3. Sección triangular, prueba 3.

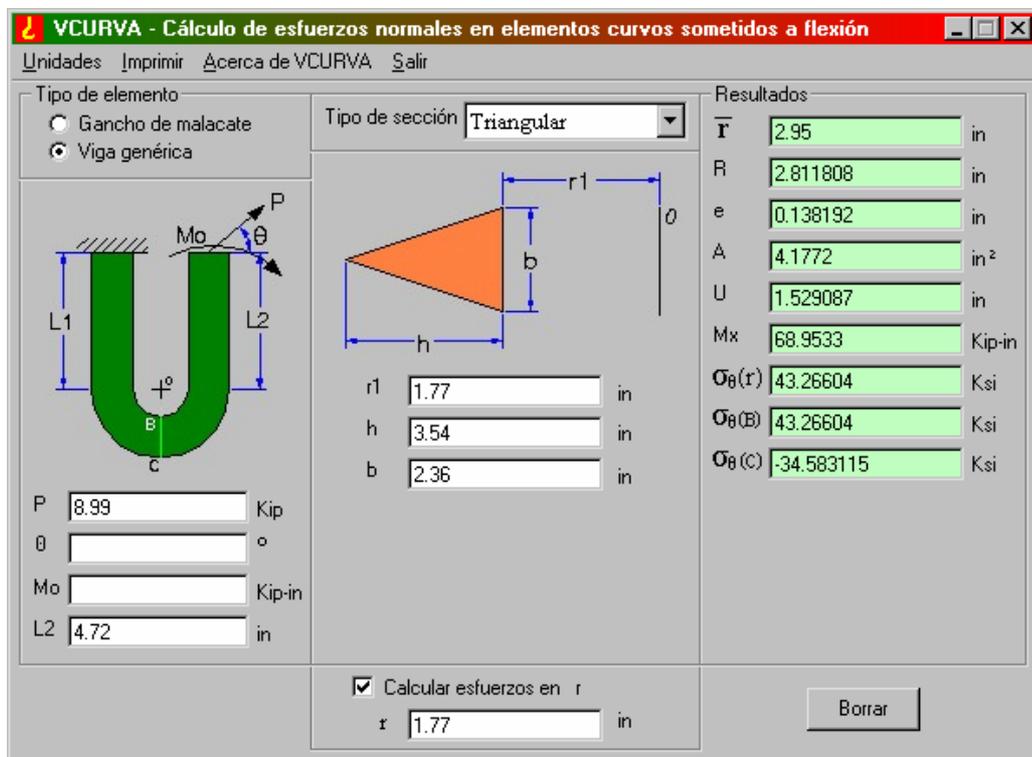


Fig. 4.4. Sección triangular, prueba 4.

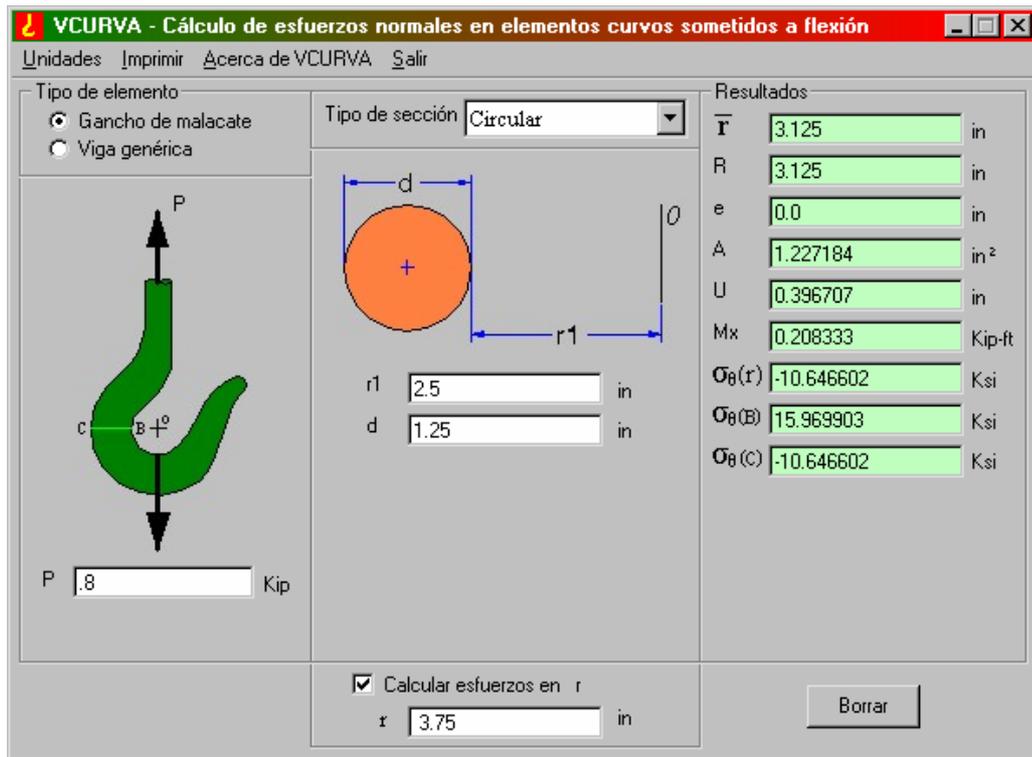


Fig. 4.5. Sección circular, prueba 5.

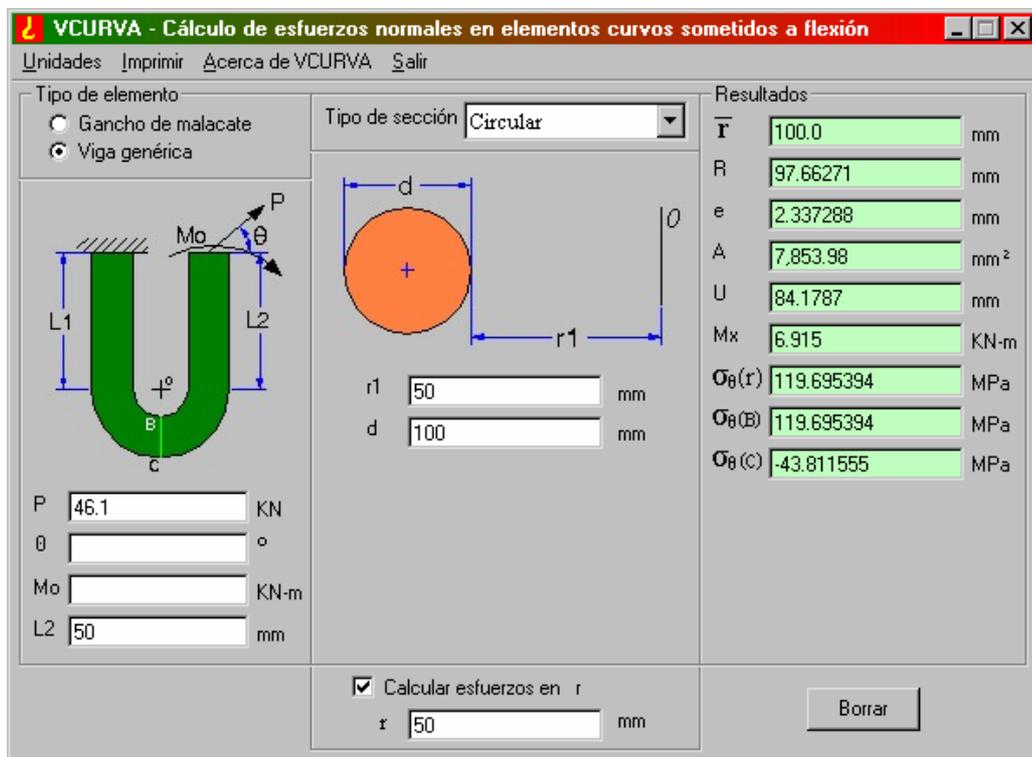


Fig. 4.6. Sección circular, prueba 6.

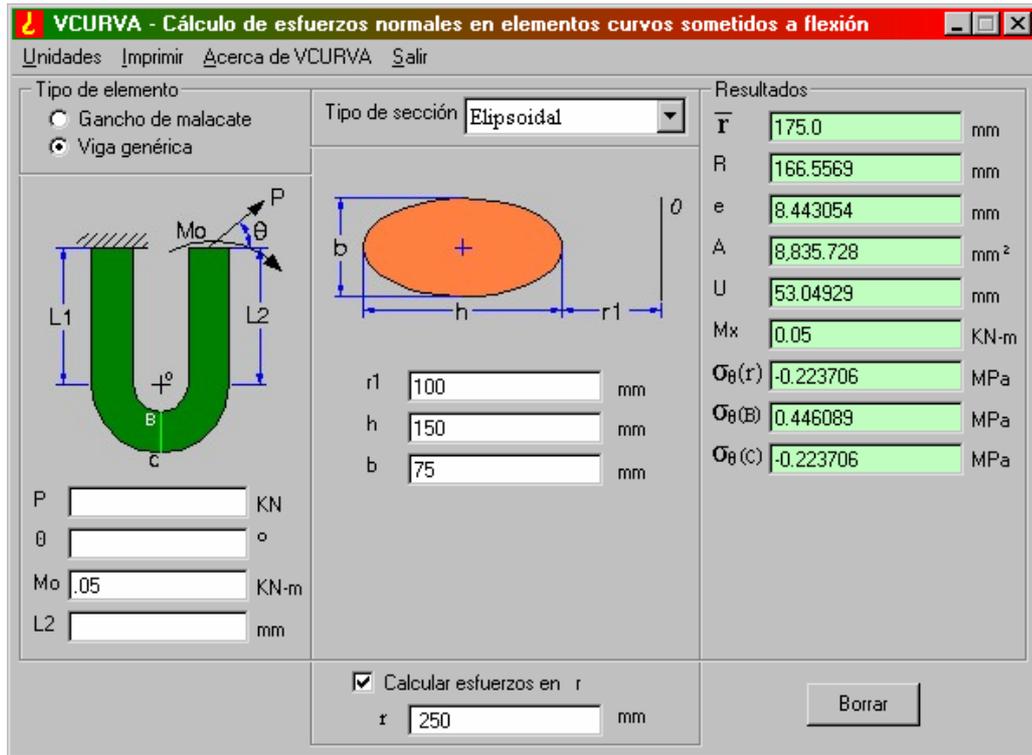


Fig. 4.7. Sección elipsoidal, prueba 7.

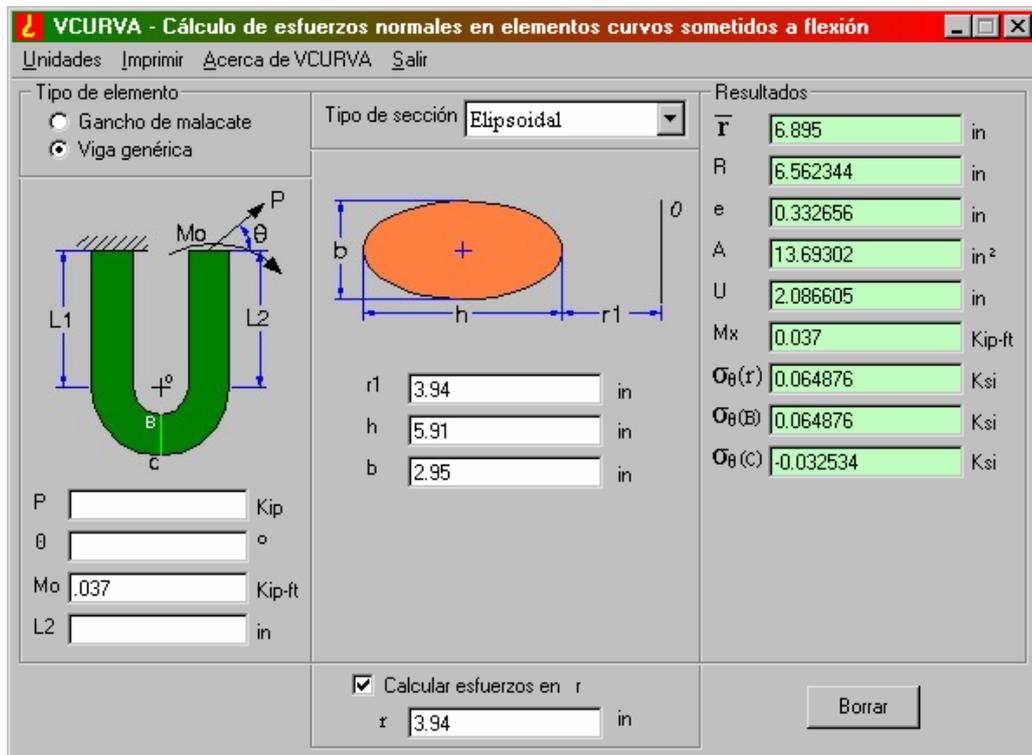


Fig. 4.8. Sección elipsoidal, prueba 8.

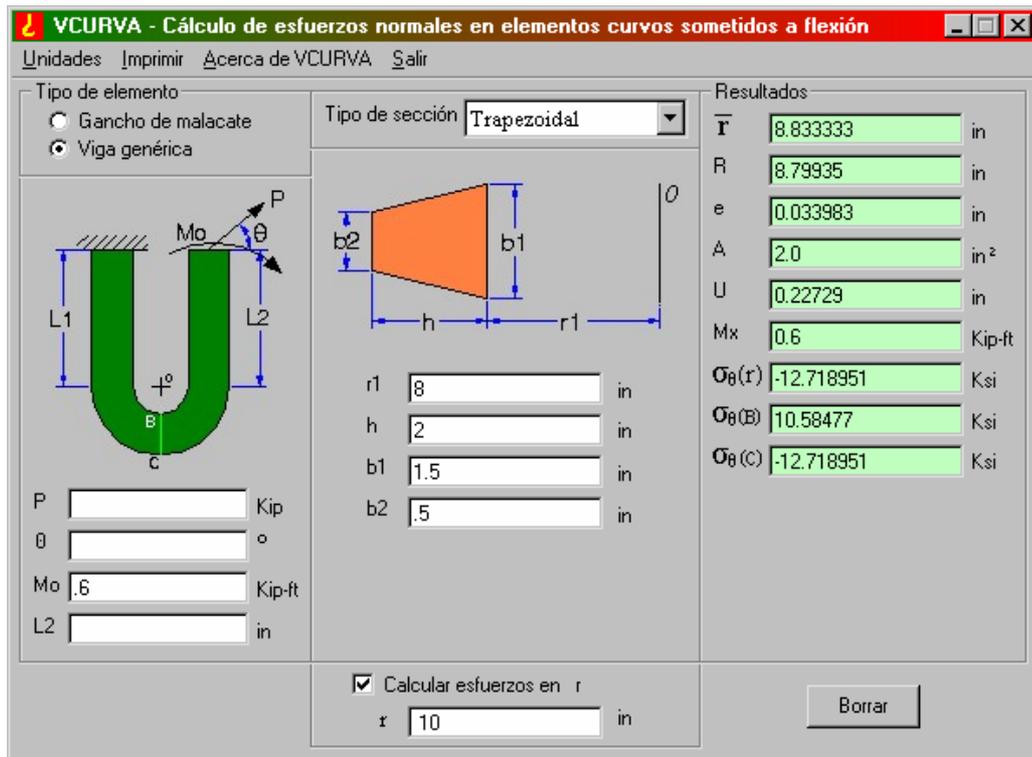


Fig. 4.9. Sección trapezoidal, prueba 9.

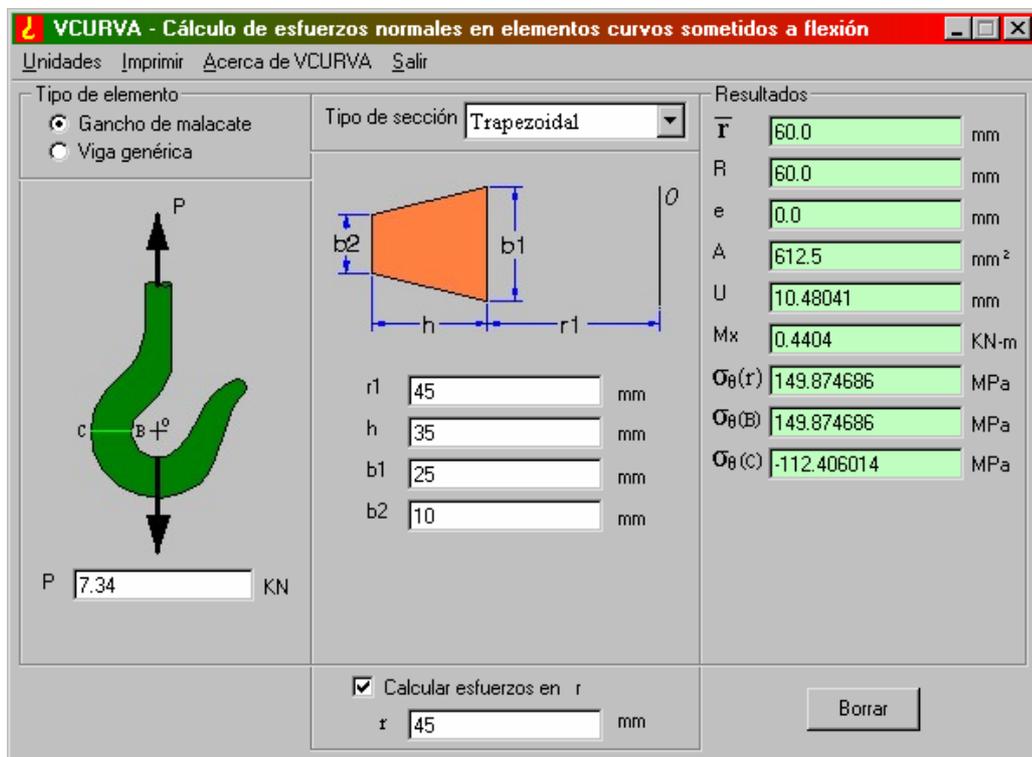


Fig. 4.10. Sección trapezoidal, prueba 10.

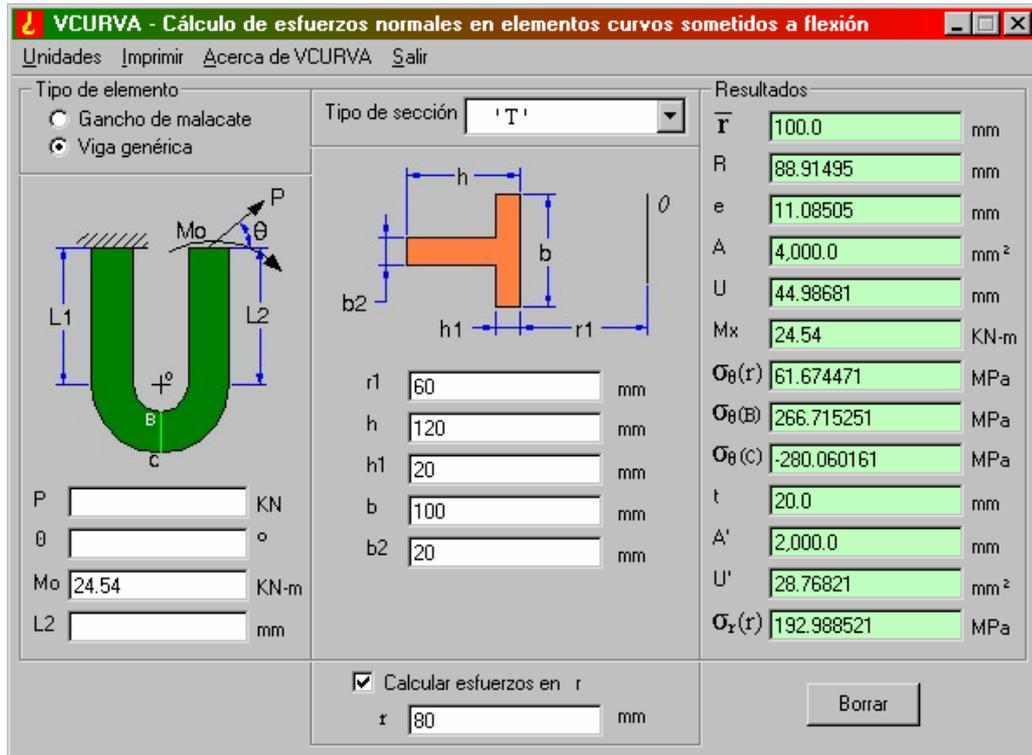


Fig. 4.11. Sección "T", prueba 11.

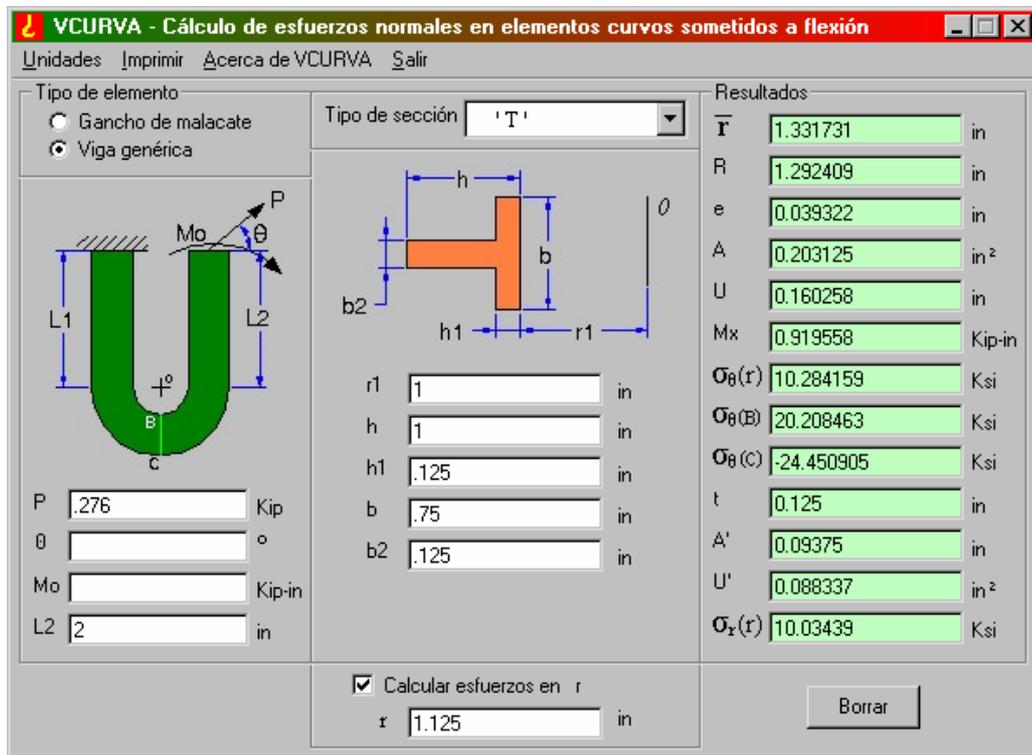


Fig. 4.12. Sección "T", prueba 12.

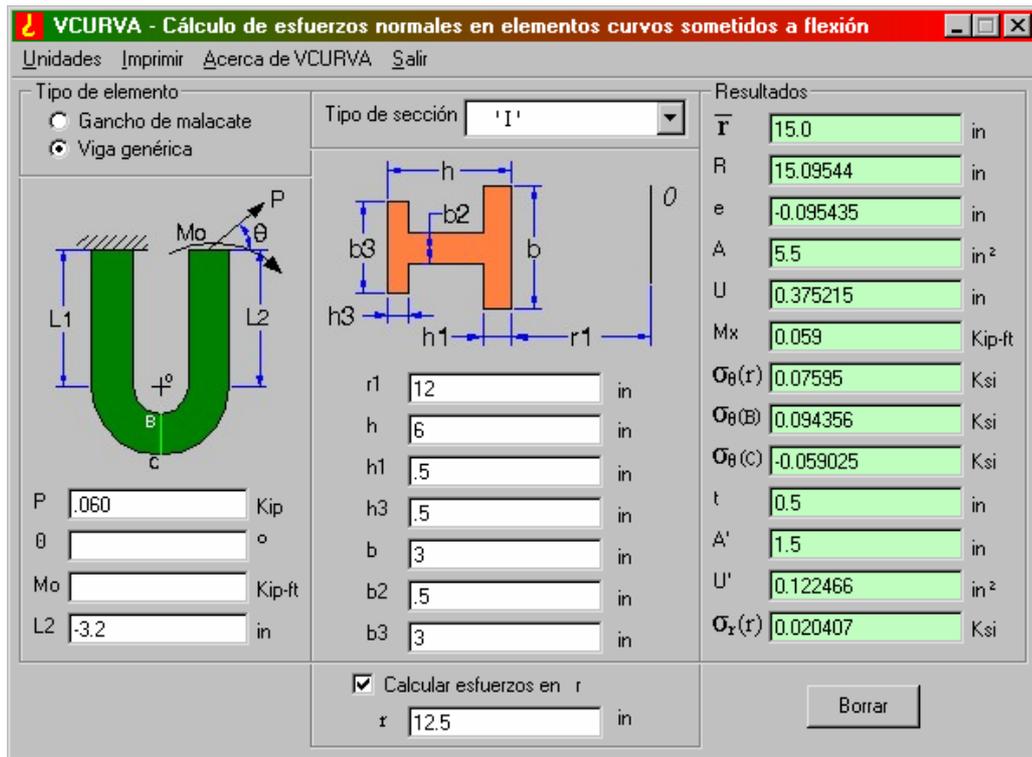


Fig. 4.13. Sección "I", prueba 13.

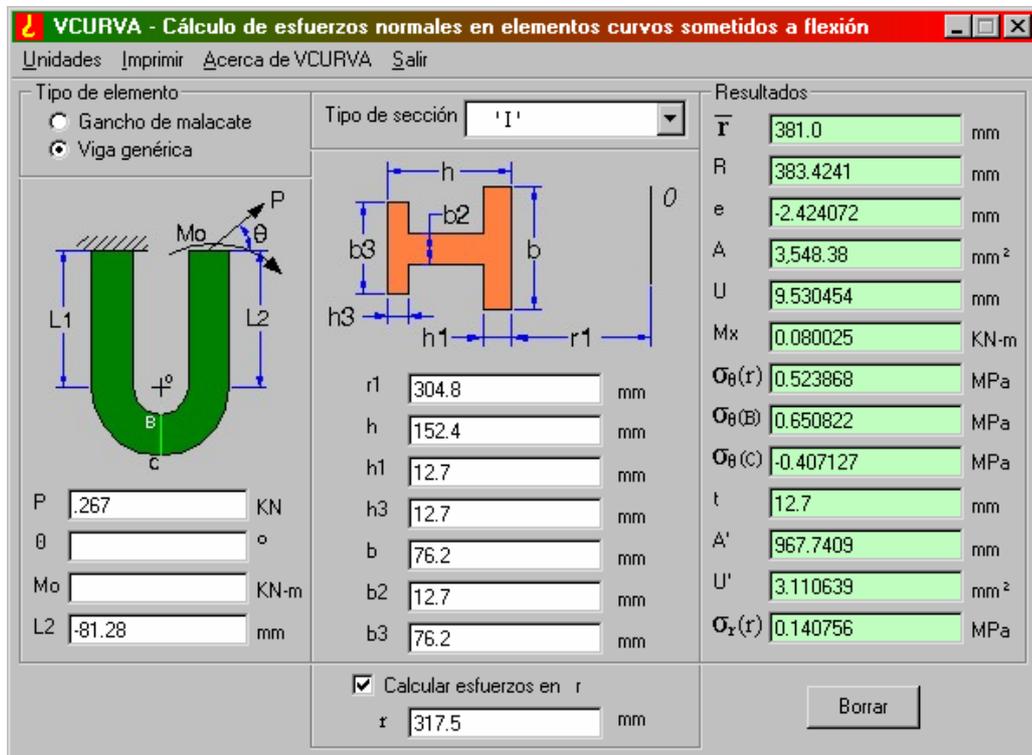


Fig. 4.14. Sección "I", prueba 14.

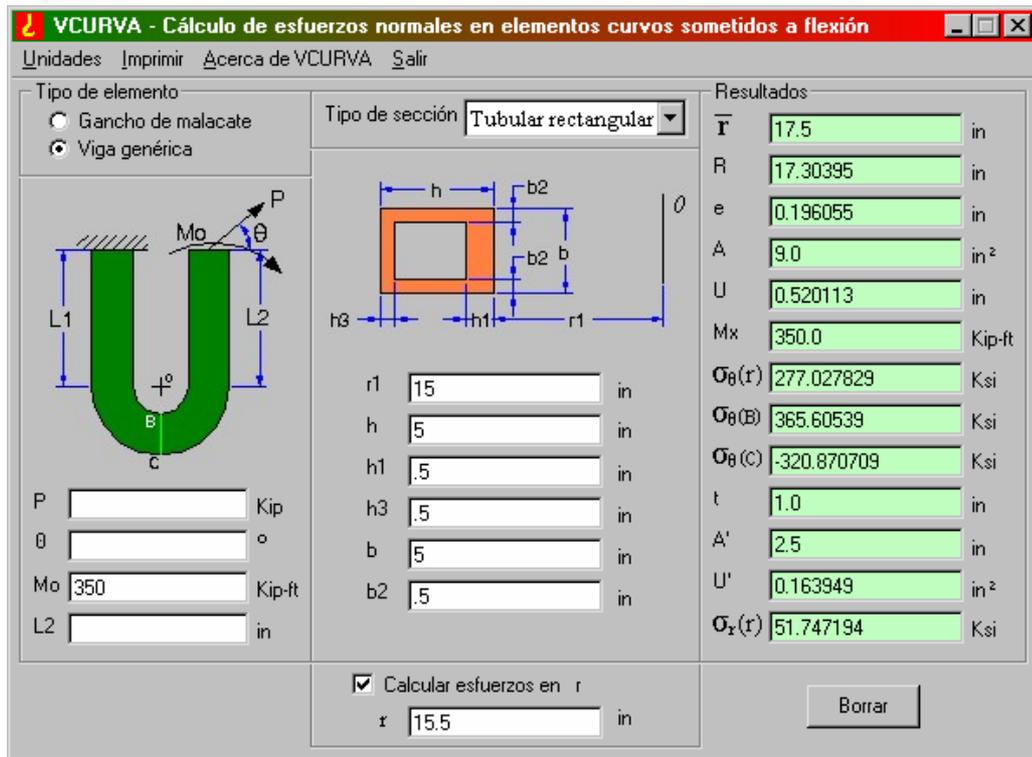


Fig. 4.15. Sección tubular rectangular, prueba 15.

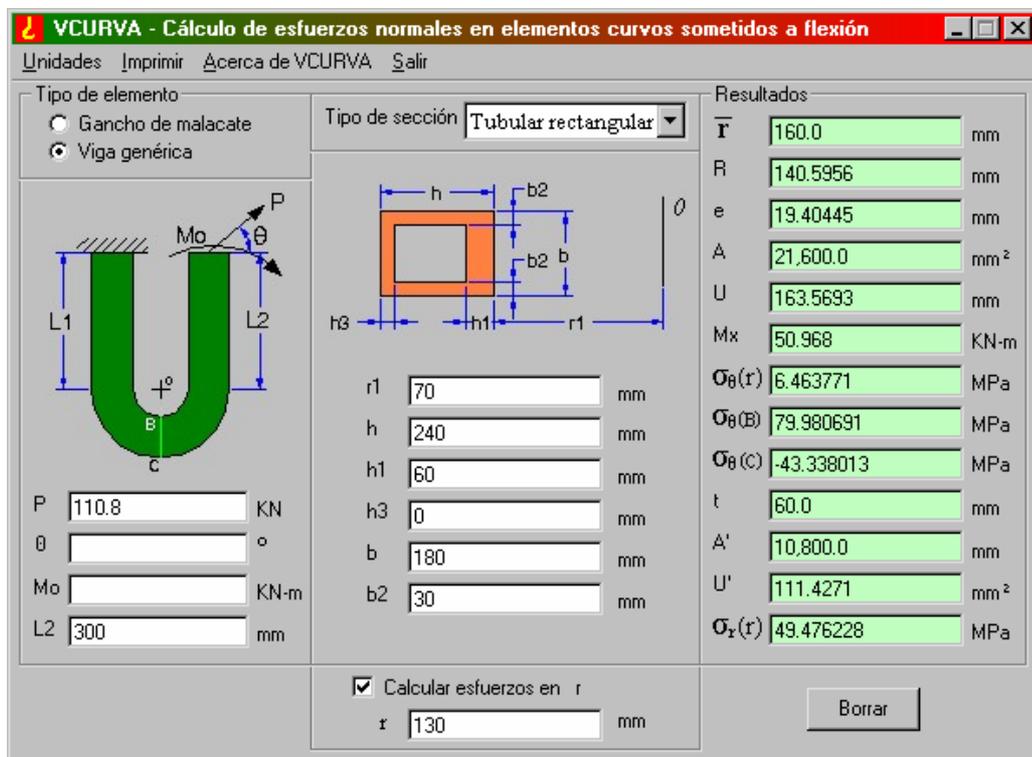


Fig. 4.16. Sección tubular rectangular, prueba 16.

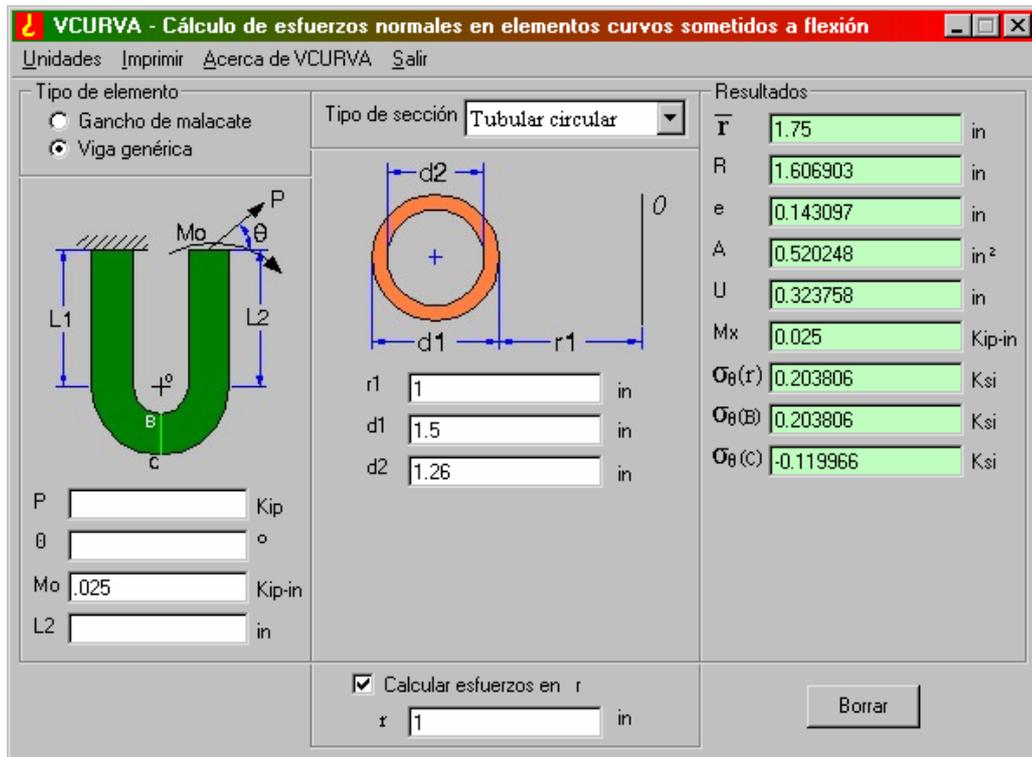


Fig. 4.17. Sección tubular circular, prueba 17.

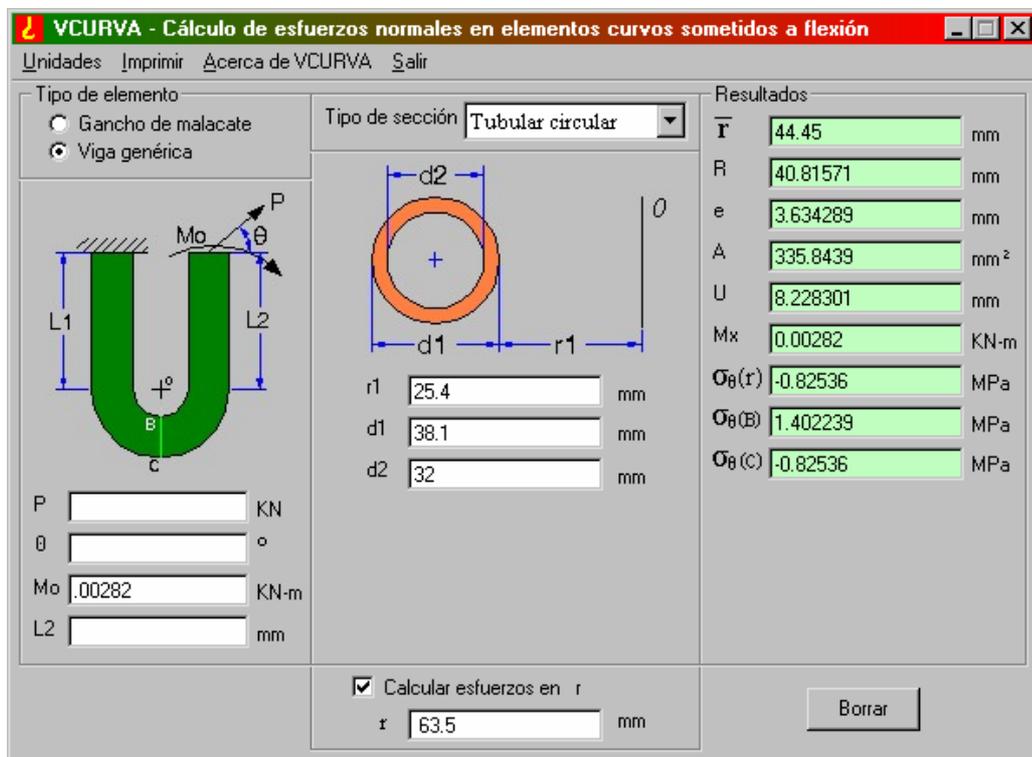


Fig. 4.18. Sección tubular circular, prueba 18.

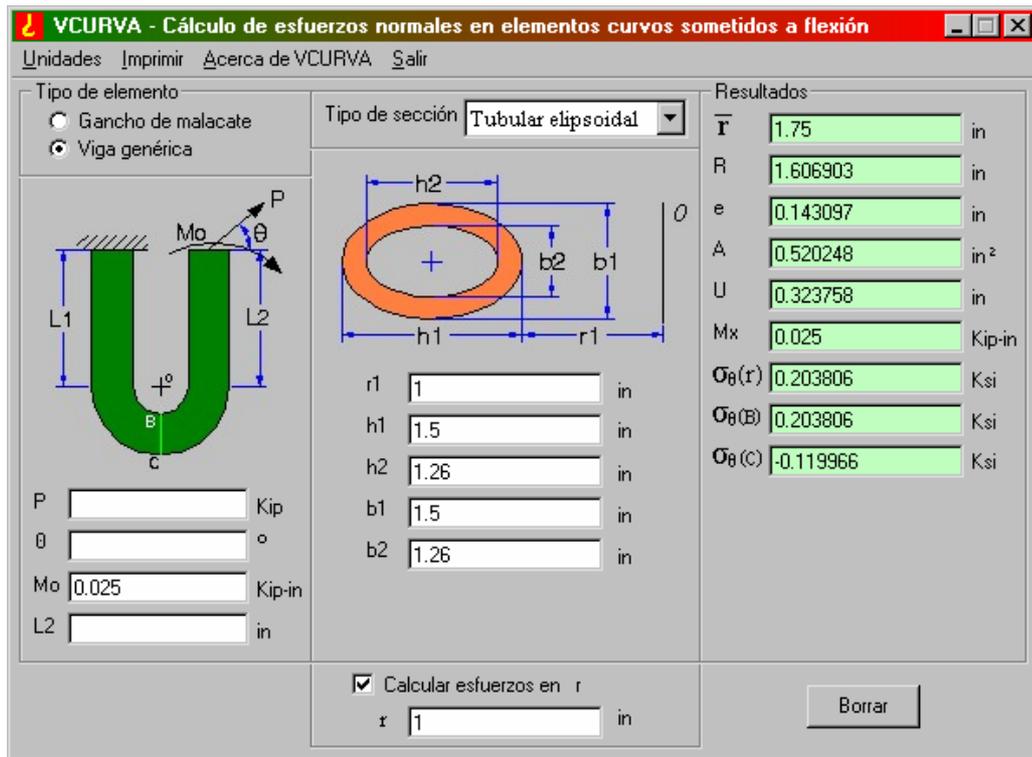


Fig. 4.19. Sección tubular elipsoidal, prueba 19.

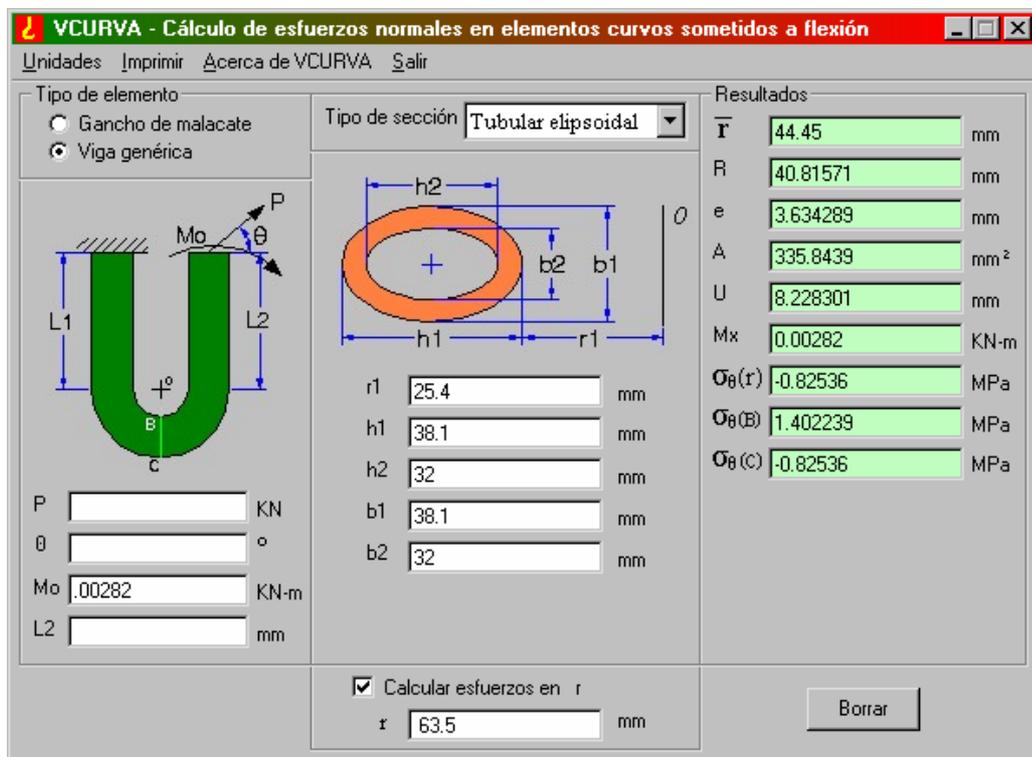


Fig. 4.20. Sección tubular elipsoidal, prueba 20.

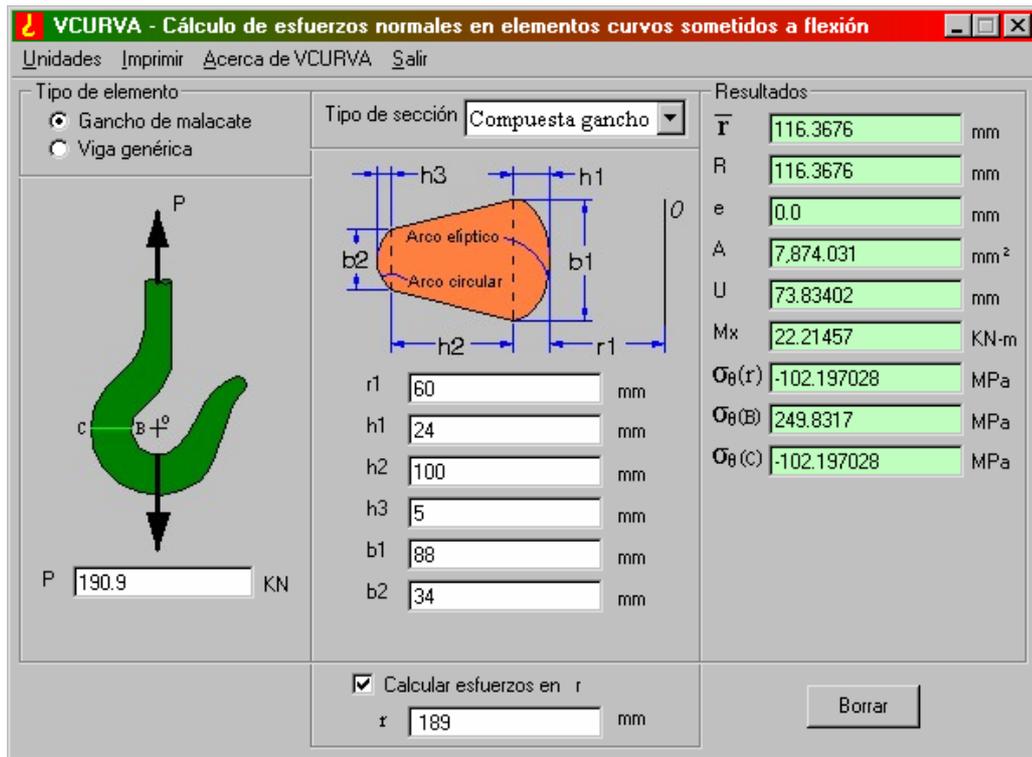


Fig. 4.21. Sección compuesta gancho, prueba 21.

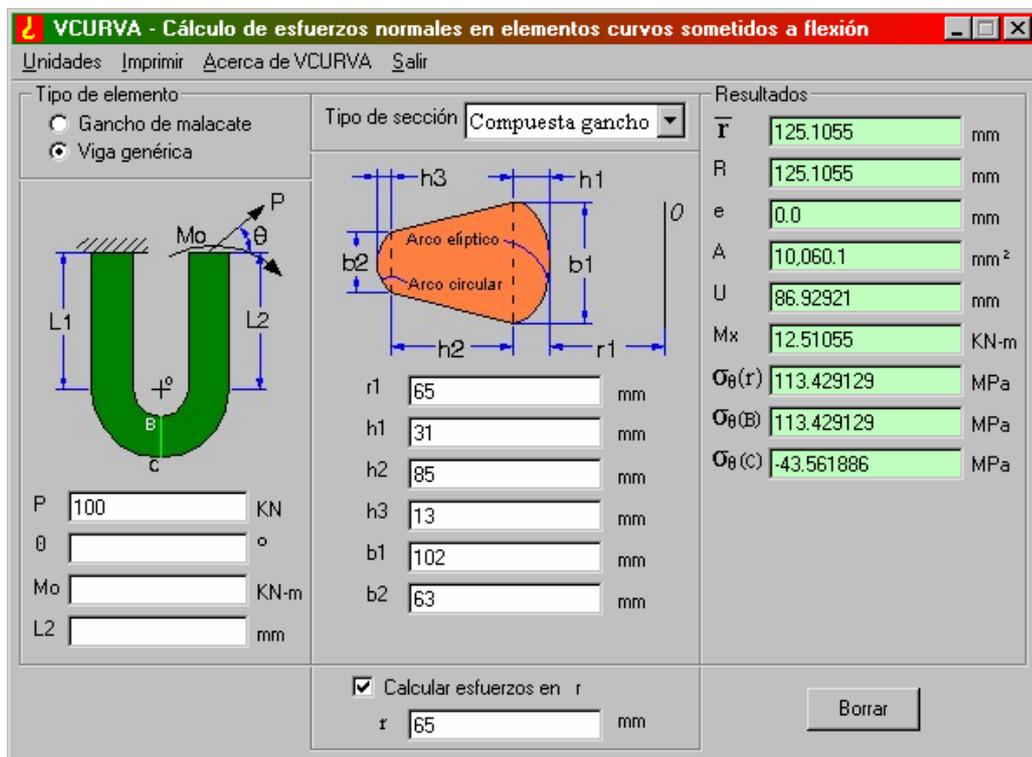


Fig. 4.22. Sección compuesta gancho, prueba 22.

La descomposición de la carga P para diferentes ángulos se muestra en las siguientes pantallas:

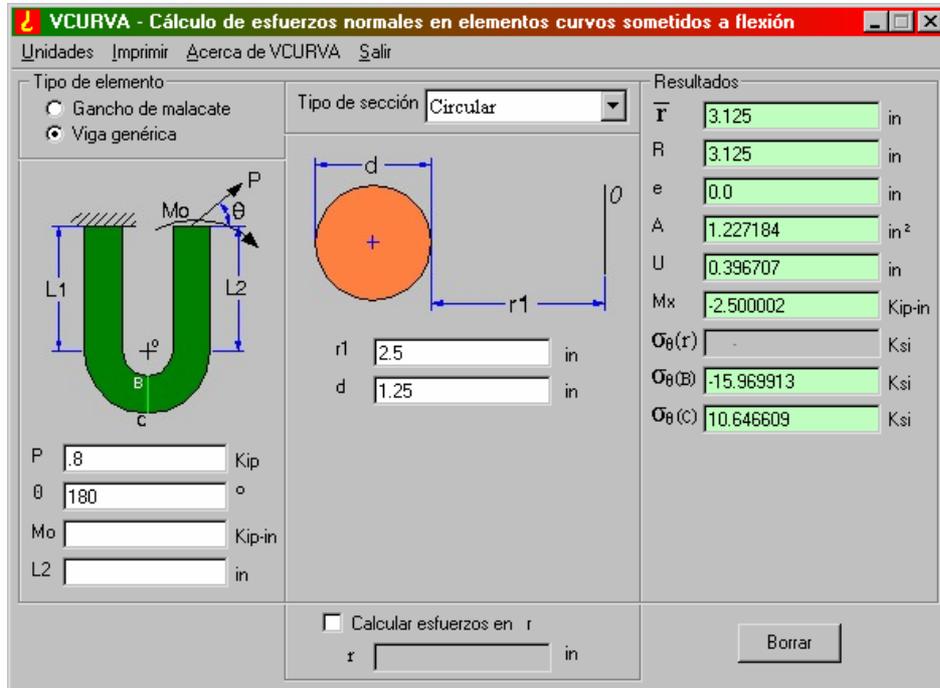


Fig. 4.23. Prueba 23. Hay variación en los signos de los esfuerzos al aplicar un ángulo de 180°.

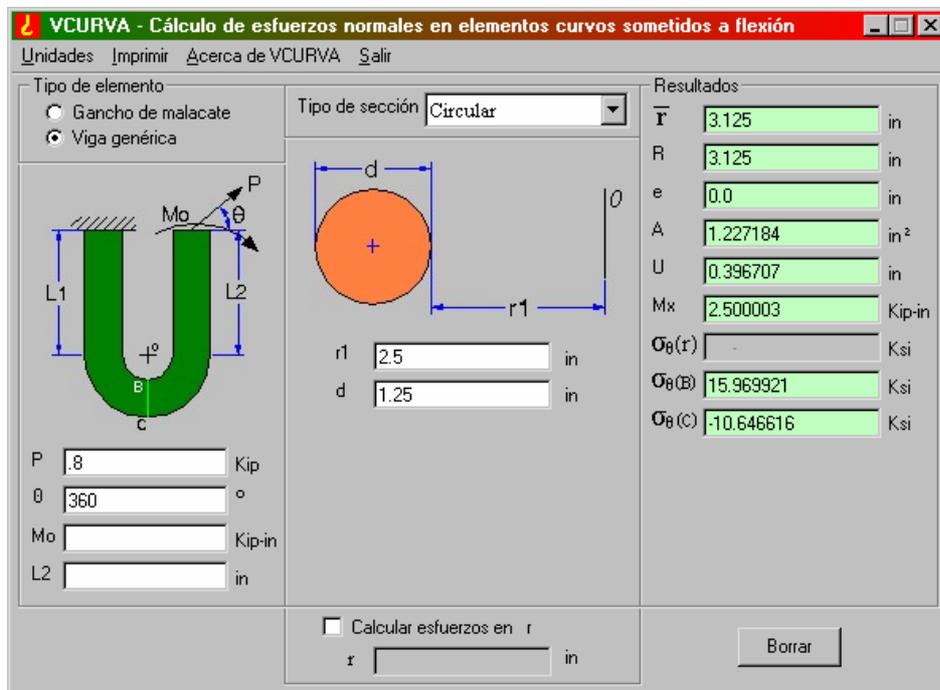


Fig. 4.24. Prueba 24. Los signos de los esfuerzos permanecen constantes al aplicar un ángulo de 360°.

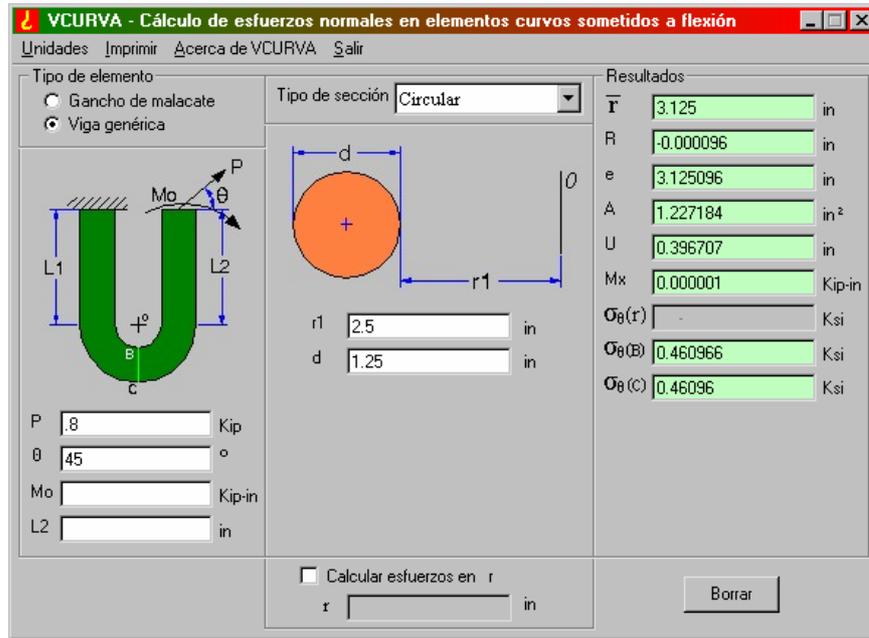


Fig. 4.25. Prueba 25. Con $\theta = 45^\circ$ el efecto del momento flexionante se nulifica y los esfuerzos en ambas fibras son P/A.

4.1.3 Comparación de resultados.

La tabla 4.2 muestra los resultados obtenidos del cálculo manual, los resultados al utilizar VCURVA, y el porcentaje de variación de estos últimos con respecto a los primeros.

Tabla 4.2. Resultados obtenidos y su comparación.

Sección	Unidades	$\sigma_{\theta}(B)$			$\sigma_{\theta}(C)$			$\sigma_r(r)$		
		Manual	VCURVA	Variación (%)	Manual	VCURVA	Variación (%)	Manual	VCURVA	Variación (%)
Rectangular	ksi	22.9000	22.895052	-0.0216	-20.0000	-20.027770	0.1389	1.0700	1.067688	-0.2161
	MPa	106.2000	106.181741	-0.0172	-49.3000	-49.318152	0.0368	19.7500	19.751096	0.0055
Triangular	MPa	297.8000	297.830224	0.0101	-238.1000	-238.059652	-0.0169	-	-	-
	ksi	43.1920	43.266040	0.1714	-34.5330	-34.583115	0.1451	-	-	-
Circular	ksi	16.0000	15.969903	-0.1881	-10.6000	-10.646602	0.4396	-	-	-
	MPa	120.0000	119.695394	-0.2538	-43.8000	-43.811555	0.0264	-	-	-
Elipsoidal	MPa	0.4460	0.446089	0.0200	-0.2240	-0.223706	-0.1313	-	-	-
	ksi	0.0647	0.064876	0.2720	-0.0325	-0.032534	0.1046	-	-	-
Trapezoidal	ksi	10.6000	10.584770	-0.1437	-12.7000	-12.718951	0.1492	-	-	-
	MPa	150.0000	149.874686	-0.0835	-112.4000	-112.406014	0.0054	-	-	-
"T"	MPa	267.0000	266.715251	-0.1066	-280.0000	-280.060161	0.0215	193.0000	192.988521	-0.0059
	ksi	20.1500	20.208463	0.2901	-24.5000	-24.450905	-0.2004	10.0000	10.034390	0.3439
"I"	ksi	0.0944	0.094356	-0.0466	-0.0590	-0.059025	0.0424	0.0204	0.020407	0.0343
	MPa	0.6509	0.650822	-0.0120	-0.4070	-0.407127	0.0312	0.1408	0.140756	-0.0313
Tubular rectangular	ksi	366.0000	365.605390	-0.1078	-321.0000	-320.870709	-0.0403	51.7500	51.747194	-0.0054
	MPa	80.0000	79.980691	-0.0241	-43.3470	-43.338013	-0.0207	49.4800	49.476228	-0.0076
Tubular circular	ksi	0.2040	0.203806	-0.0951	-0.1200	-0.119966	-0.0283	-	-	-
	MPa	1.4070	1.402239	-0.3384	-0.8270	-0.825360	-0.1983	-	-	-
Tubular elipsoidal	ksi	0.2040	0.203806	-0.0951	-0.1200	-0.119966	-0.0283	-	-	-
	MPa	1.4070	1.402239	-0.3384	-0.8270	-0.825360	-0.1983	-	-	-
Compuesta gancho	MPa	249.8800	249.831700	-0.0193	-102.1300	-102.197028	0.0656	-	-	-
	MPa	113.5000	113.429129	-0.0624	-43.6000	-43.561886	-0.0874	-	-	-

Las variaciones entre los resultados obtenidos del cálculo manual y los valores calculados con VCURVA se deben principalmente al truncamiento y redondeo de decimales. A pesar de esto, puede notarse que la variación máxima es del 0.4396%, lo cual indica que el programa hace los cálculos correctamente.

4.2 VERIFICACIÓN INDIRECTA.

4.2.1 Resultados obtenidos con VCURVA.

La sección escogida para la validación es de tipo rectangular. Los valores de carga y dimensiones propuestos son los siguientes:

$$P = 10 \text{ kip} \quad r_1 = 3'' \quad h = 2'' \quad b = 1'' \quad r = 4''$$

Asignando los valores de carga y dimensiones a VCURVA

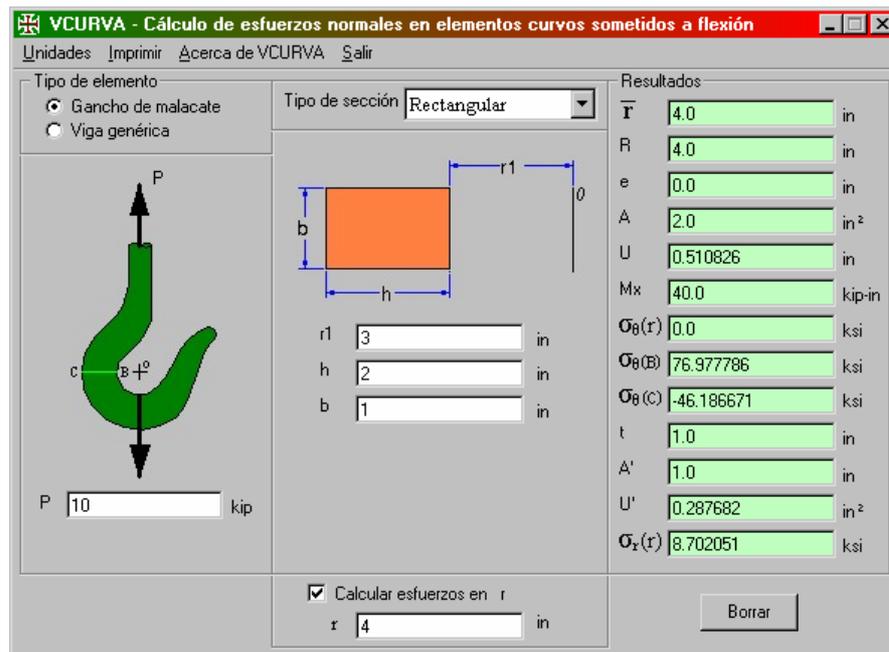


Fig. 4.26. Valores obtenidos con VCURVA.

4.2.2 Validación con el método del elemento finito (MEF).

Para este efecto se ha elegido el programa ANSYS, que se basa en dicho método. Empleando los cuatro primeros valores en el modelado y aplicación de carga se han obtenido los siguientes resultados:

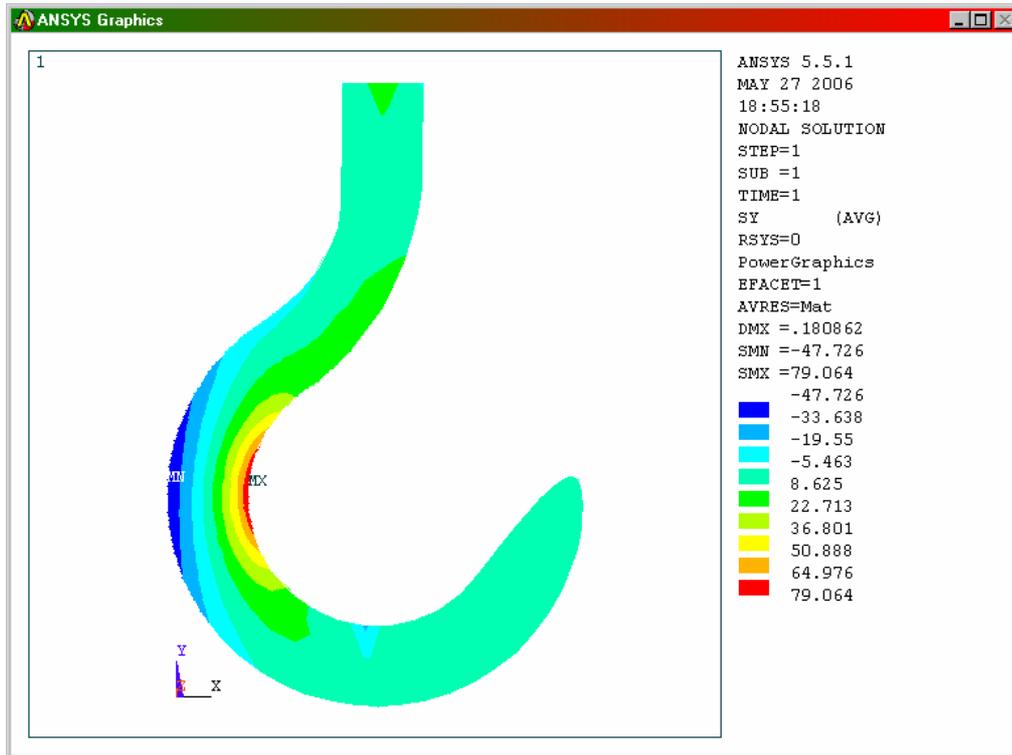


Fig. 4.27. Valores del esfuerzo circunferencial obtenidos con ANSYS.

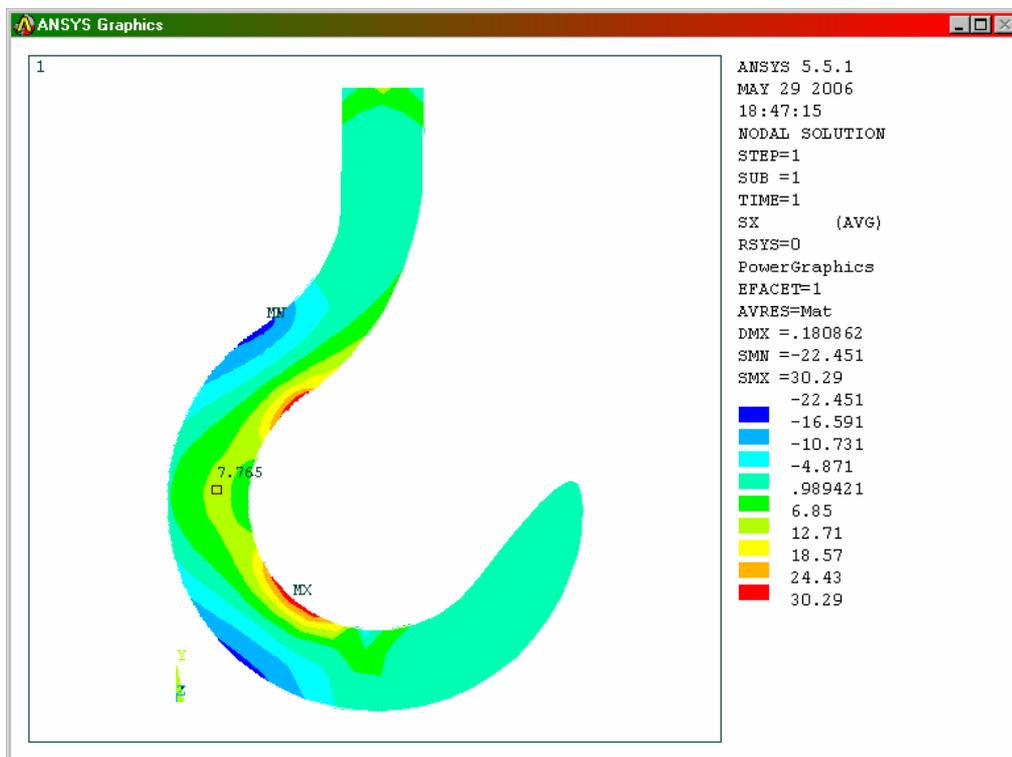


Fig. 4.28. Valores del esfuerzo radial.

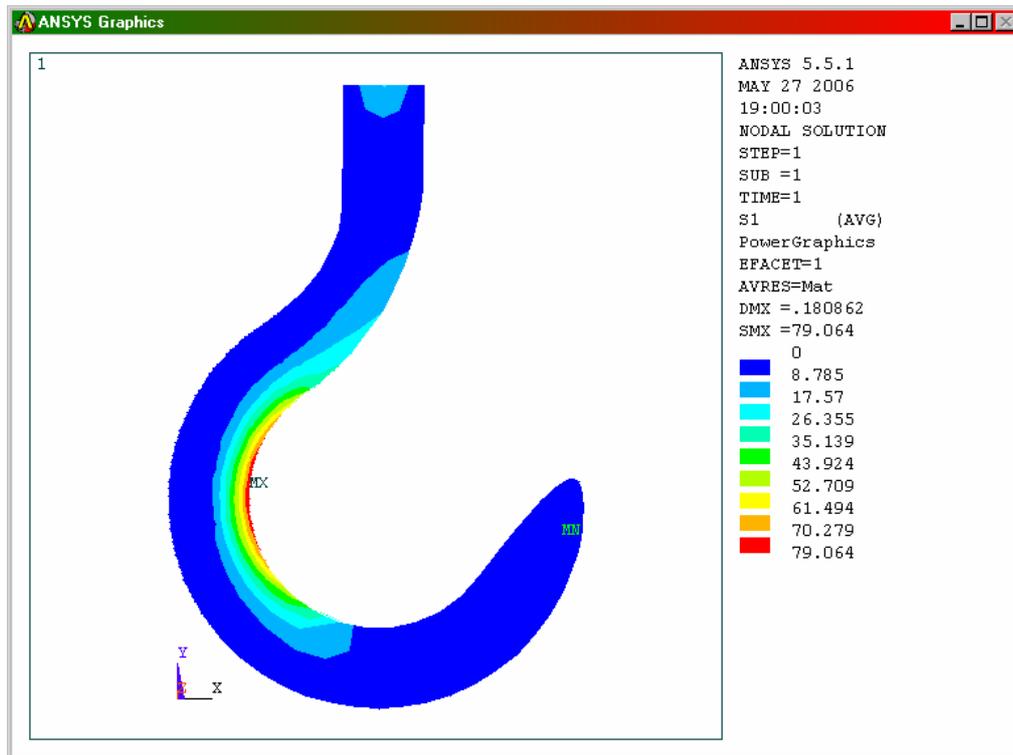


Fig. 4.29. Valores del esfuerzo principal 1.

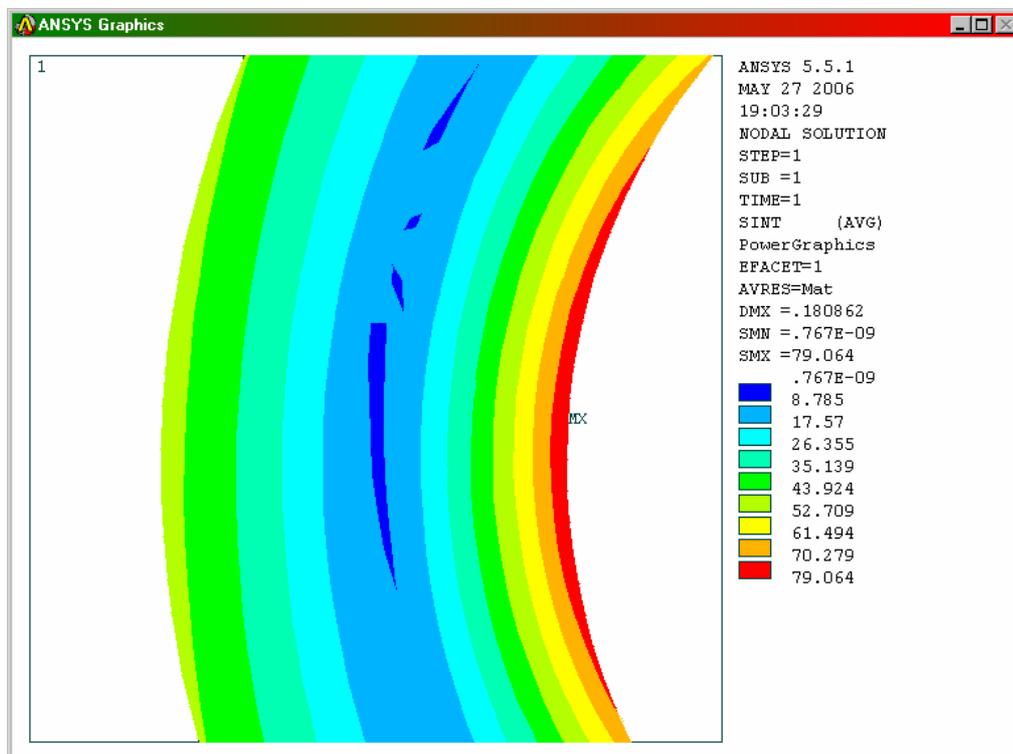


Fig. 4.30. Valores absolutos de esfuerzo.

4.2.3 Validación con la teoría de la elasticidad.

La referencia [3] presenta la solución exacta al problema de un elemento curvo de sección rectangular y base unitaria sometido a flexión simple. Las ecuaciones correspondientes a la solución son:

$$\sigma_r = -\frac{4M}{N} \left(\frac{r_1^2 r_2^2}{r^2} \ln \frac{r_2}{r_1} + r_2^2 \ln \frac{r}{r_2} + r_1^2 \ln \frac{r_1}{r} \right) \quad 4-1$$

$$\sigma_\theta = -\frac{4M}{N} \left(-\frac{r_1^2 r_2^2}{r^2} \ln \frac{r_2}{r_1} + r_2^2 \ln \frac{r}{r_2} + r_1^2 \ln \frac{r_1}{r} + r_2^2 - r_1^2 \right) \quad 4-2$$

donde

$$N = (r_2^2 - r_1^2)^2 - 4 r_1^2 r_2^2 \left(\ln \frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

El principio de superposición establece que el esfuerzo debido a un conjunto de cargas puede determinarse encontrando el esfuerzo debido a cada carga actuando separadamente [4]. La teoría de la elasticidad admite este principio, de tal forma que el esfuerzo circunferencial en un sistema carga axial – flexión es la suma de los esfuerzos debidos a cada carga

$$\sigma'_\theta = \sigma_{Ax} + \sigma_\theta \quad 4-3$$

Considerando que $\sigma_{Ax} = P/h$ (la base es unitaria), y sustituyendo esta expresión y 4-2 en 4-3 se obtiene

$$\sigma'_\theta = \frac{P}{h} - \frac{4M}{N} \left(-\frac{r_1^2 r_2^2}{r^2} \ln \frac{r_2}{r_1} + r_2^2 \ln \frac{r}{r_2} + r_1^2 \ln \frac{r_1}{r} + r_2^2 - r_1^2 \right) \quad 4-4$$

Siguiendo el mismo procedimiento se obtiene la ecuación para el esfuerzo radial

$$\sigma'_r = \frac{P(r - r_1)}{r h} - \frac{4M}{N} \left(\frac{r_1^2 r_2^2}{r^2} \ln \frac{r_2}{r_1} + r_2^2 \ln \frac{r}{r_2} + r_1^2 \ln \frac{r_1}{r} \right) \quad 4-5$$

La presente validación será hecha sustituyendo los valores de carga y sección transversal dados en 4.2.1 en las expresiones 4-4 y 4-5. Al resolver se llega a lo siguiente:

$$\sigma_{\theta}(r_1) = 77.1749 \text{ ksi}$$

$$\sigma_{\theta}(r_2) = -46.4774 \text{ ksi}$$

$$\sigma_r(r) = 8.6953 \text{ ksi}$$

4.2.4 Comparación de resultados.

Teniendo en cuenta que la teoría de la elasticidad da la solución exacta, los valores obtenidos con el MEF y VCURVA serán comparados con los dados por esta.

Tabla 4.3. Comparación entre los valores obtenidos con el MEF y la teoría de la elasticidad.

	$\sigma_{\theta}(B)$	$\sigma_{\theta}(C)$	$\sigma_r(r)$
T. ELAST.	77.1749	-46.4774	8.6953
ANSYS	79.0440	-47.6820	7.7650
Variación (%)	2.4219	2.5918	-10.6989

Tabla 4.4. Comparación entre los valores obtenidos con VCURVA y la teoría de la elasticidad.

	$\sigma_{\theta}(B)$	$\sigma_{\theta}(C)$	$\sigma_r(r)$
T. ELAST.	77.1749	-46.4774	8.6953
VCURVA	76.977786	-46.186671	8.702051
Variación (%)	-0.2554	-0.6255	0.0776

En las tablas 4.3 y 4.4 se observa que si bien los valores de esfuerzos circunferenciales obtenidos con VCURVA son no conservadores, su variación con respecto a la teoría de la elasticidad es mucho menor que la de los valores obtenidos por el método del elemento finito. El valor del esfuerzo radial obtenido con VCURVA es conservador con respecto a la teoría de la elasticidad además de que su variación es muy baja.

Los valores de los esfuerzos circunferenciales obtenidos con el MEF son conservadores, lo cual es conveniente siempre y cuando la variación de estos con respecto a la solución exacta sea relativamente baja. El valor del esfuerzo radial es no conservador y no solo eso, la variación de este respecto a la solución exacta es del -10.6989 %, lo cual resulta elevado.

REFERENCIAS.**[1] ADVANCED MECHANICS OF MATERIALS**

Arthur Peter Boresi. Ed. John Wiley and Sons, Inc. E.U.A. Sexta Ed.
Capítulo 9.

[2] VISUAL BASIC - GUÍA DEL ESTUDIANTE. Luis Suárez Bernaldo.

http://vigon.mvps.org/manuales/vb_guia.zip http://tec.upc.es/ie/practi/manual_VB/

[3] TEORÍA DE LA ELASTICIDAD

S. Timoshenko. J. N. Goodier. URMO S. A. de ediciones, España, 1975. Segunda Ed.
Páginas 86-88.

[4] MECÁNICA DE MATERIALES

Russell Charles Hibbeler. Ed. Prentice Hall. México, tercera edición.
Página 136.

CONCLUSIONES

Conclusiones particulares.

- Al haber revisado los valores mostrados en las tablas 4.3 y 4.4 se ha llegado a la conclusión de que existe por lo menos un caso en que VCURVA da mayor exactitud que ANSYS.
- En la figura 4.30, entre las franjas de esfuerzo, puede verse que la más oscura está ubicada prácticamente a media altura de la sección transversal. El eje neutro pasa por esta franja, pero se supone que este debería estar notoriamente desplazado hacia el centro de curvatura del gancho. Es algo extraño, pero no es lo único. En las figuras 4.5, 4.10, 4.21 y 4.22 se encuentra que el valor de la excentricidad es nulo. El tipo de elemento que se ha evaluado y presentado en estas figuras es el gancho de malacate.

La teoría de vigas curvas propone que el eje centroidal y el eje neutro no coinciden. ¿Será acaso que esta condición no siempre es cierta?

Para determinar en qué casos el eje centroidal y el eje neutro se superponen es necesario revisar la ecuación 2-12, que es la correspondiente al radio de curvatura

$$R = \frac{A M_x}{U M_x + P (A - \bar{r} U)} \quad 2-12$$

Teniendo en cuenta que en el caso del gancho analizado $M_x = P \cdot \bar{r}$, sustituyendo M_x en 2-12

$$R = \frac{A (P \bar{r})}{U (P \bar{r}) + P (A - \bar{r} U)}$$

$$R = \frac{A P \bar{r}}{U P \bar{r} + A P - U P \bar{r}}$$

Simplificando se obtiene que $R = \bar{r}$, de lo cual se concluye que “En el caso de una viga curva donde la carga es perpendicular a la sección transversal y su línea de acción pasa por el centro de curvatura, los ejes centroidal y neutro se superponen”. Este es el caso de las figuras 4.5, 4.10, 4.21 y 4.22 y de la validación hecha en 4.2.

- La mayoría de los textos revisados durante la elaboración del capítulo 2 desarrollan la teoría de vigas curvas a partir de un fenómeno de flexión simple. Si bien esto es válido, el asumirlo de esta forma resulta inconveniente porque pueden darse dos situaciones de confusión.

La primera es que en el caso de flexión simple $R = A / U$. Hay textos donde tratándose de un caso de flexión combinada con carga axial, se pide al estudiante que calcule el radio de curvatura con la relación arriba descrita, con el valor de R obtenido determine el esfuerzo debido a la flexión, sume a este el esfuerzo debido a la carga axial, y dibuje la distribución de esfuerzos (circunferenciales). Si el dibujo fue hecho a escala y se mide el radio de curvatura, este nunca coincidirá con el valor calculado.

La segunda ocurre cuando aparte de que se utiliza la relación $R = A / U$, la ecuación de esfuerzo está en función de la excentricidad e . Hay un ejemplo en un libro donde se calculan los esfuerzos en un gancho de grúa en el cual la línea de acción de la carga pasa por el centro de curvatura. De acuerdo a la conclusión anterior los ejes centroidal y neutro serán coincidentes. Pero en el desarrollo del ejemplo se calcula el radio de curvatura con $R = A / U$, se determina el radio centroidal, a partir de estos es obtenida la excentricidad, es calculado el esfuerzo debido a la flexión, a este se le suma el esfuerzo debido a la carga axial, y es dibujada la distribución de esfuerzos circunferenciales. El resultado es que el punto donde la curva de esfuerzo corta al eje de las abscisas es a media altura de la sección transversal, lo cual es confuso puesto que el valor de la excentricidad no es nulo.

En general, el desarrollar la teoría de vigas curvas a partir de un fenómeno de flexión simple traerá como consecuencia que la ecuación del esfuerzo circunferencial obtenida sea una solución particular del problema. La solución general será obtenida siempre que se considere la combinación de carga axial y flexión.

Conclusiones generales.

- El carácter interdisciplinario de la ingeniería mecánica plantea la necesidad de conocer otras disciplinas.
- Se debe tener la suficiente sensibilidad para reconocer una necesidad, definirla y satisfacerla de forma conveniente.
- En la resolución de un problema resulta una ventaja útil el poder modelar situaciones para simplificar su estudio y llegar a una solución satisfactoria.
- La complejidad de un problema requiere que este sea analizado de fuera hacia dentro, de lo general a lo particular, de la sustancia a la esencia.
- El alto grado de complejidad de una ecuación o de un procedimiento puede significar un incremento en la cantidad de tiempo de desarrollo.
- En el procedimiento del cálculo de una variable no es conveniente calcular la variable saltando pasos como el calcular variables intermedias, ya que muchas veces es necesaria la comprobación de este cálculo, y las variables intermedias se requieren para hacer la comprobación.
- La misión del autodidacta es dominar un creciente grupo de disciplinas, incrementar sus conocimientos, desarrollar nuevas habilidades y mejorar las que ya tiene. Todo esto con la finalidad de poner el conocimiento al alcance de cualquier mente que desee adquirir la grandeza a la que se llega solo cuando se ha interactuado con el conocimiento.

RECOMENDACIONES PARA TRABAJO FUTURO

- Desarrollando las ecuaciones de A' y U' en todos los casos contemplados en la tabla 2.1, puede evaluarse el esfuerzo radial para todos los tipos de sección.
- Trabajando sobre el menú de unidades, introduciendo más factores de conversión puede crearse la posibilidad del manejo de unidades de diferentes sistemas, ya sea las principales ó sus múltiplos.
- Para obtener procedimientos de cálculo completos, puede desarrollarse mediante la modificación del código fuente un procedimiento generador de memoria de cálculo. La memoria generada, junto con el diagrama de cuerpo libre del elemento, pueden ser desplegados en una ventana y mandados a imprimir imagen ó como imagen y texto.
- Teniendo un conocimiento avanzado de los lenguajes de programación visual, puede sacársele mayor provecho a la interfase gráfica. Por ejemplo, puede graficarse la distribución de los esfuerzos circunferencial y radial, colorear franjas de esfuerzo en la sección, dibujar el radio r , sombrear el área A' en la sección, etc.
- Con la finalidad de tener más herramientas de cálculo, resultaría conveniente la incorporación del método del elemento finito (MEF) en la programación de VCURVA.
- En busca de la validación total de VCURVA, se sugiere que los demás tipos de secciones sean evaluados con programas basados en el MEF.
- El agregar a VCURVA una lista de materiales de ingeniería con sus resistencias a la cedencia es conveniente puesto que los esfuerzos calculados pueden compararse con los valores de resistencia o con esfuerzos de trabajo calculados en el mismo programa.

APÉNDICE

CÓDIGO FUENTE REFERENTE AL MANEJO DE CONTROLES

```

Option Explicit
Dim P As Single
Dim MO As Single
Dim Z As Single
Dim L2 As Single
Dim R As Single
Dim R1 As Single
Dim R2 As Single
Dim AREA As Single
Dim AP As Single
Dim B As Single
Dim B1 As Single
Dim B2 As Single
Dim B3 As Single
Dim H As Single
Dim H1 As Single
Dim H2 As Single
Dim H3 As Single
Dim T As Single
Dim RC As Single
Dim RN As Single
Dim U As Single
Dim UP As Single
Dim MX As Single
Dim L_factor As Single
Dim M_factor As Single
Dim S_factor As Single
Dim U_ERR As Byte
Dim RC_ERR As Byte
Dim UP_ERR As Byte
Dim RESPRN As Byte

Public Sub CargaImagen1()

' Rutina para desplegar el gancho ó
' la viga genérica *****

If Option1.Value = True Then
    Frame2.Visible = True
    Frame3.Visible = False
Else
    Frame3.Visible = True
    Frame2.Visible = False
End If

' Rutina para habilitar o deshabilitar
' la opción del cálculo de los esfuerzos en r -----

If Check1.Value = 1 Then
    Text13.Enabled = True

```

```
Text13.BackColor = &HFFFFFF
Text19.Enabled = True
Text19.BackColor = &HC0FFC0
Else
Text13.Enabled = False
Text13.BackColor = &HC0C0C0
Text19.Enabled = False
Text19.BackColor = &HC0C0C0
End If

' Rutina para mostrar u ocultar
' los controles que despliegan resultados relacionados con r -----

If Combol.Text = "Rectangular" Or Combol.Text = "          ' T '" Or Combol.Text =
"          ' I '" Or Combol.Text = "Tubular rectangular" Then
Label15.Visible = True
Label19.Visible = True
Label18.Visible = True
Image19.Visible = True
Text14.Visible = True
Text22.Visible = True
Text25.Visible = True
Text24.Visible = True
Label45.Visible = True
Label46.Visible = True
Label47.Visible = True
Label48.Visible = True
Else
Label15.Visible = False
Label19.Visible = False
Label18.Visible = False
Image19.Visible = False
Text14.Visible = False
Text22.Visible = False
Text25.Visible = False
Text24.Visible = False
Label45.Visible = False
Label46.Visible = False
Label47.Visible = False
Label48.Visible = False

End If

' Rutina para habilitar o deshabilitar
' los controles que despliegan resultados relacionados con r -----

If Check1.Value = 1 And (Combol.Text = "Rectangular" Or Combol.Text = "          '
T '" Or Combol.Text = "          ' I '" Or Combol.Text = "Tubular rectangular")
Then
Text14.Enabled = True
Text14.BackColor = &HC0FFC0
Text22.Enabled = True
Text22.BackColor = &HC0FFC0
Text25.Enabled = True
Text25.BackColor = &HC0FFC0
Text24.Enabled = True
Text24.BackColor = &HC0FFC0
```

```
Else
  Text14.Enabled = False
  Text14.BackColor = &HC0C0C0
  Text22.Enabled = False
  Text22.BackColor = &HC0C0C0
  Text25.Enabled = False
  Text25.BackColor = &HC0C0C0
  Text24.Enabled = False
  Text24.BackColor = &HC0C0C0
End If

End Sub
' Procedimiento para desplegar el tipo
' de sección y los controles correspondientes *****

Public Sub CargaImagen2()

  Image4.Visible = False
  Image5.Visible = False
  Image6.Visible = False
  Image7.Visible = False
  Image8.Visible = False
  Image9.Visible = False
  Image10.Visible = False
  Image11.Visible = False
  Image12.Visible = False
  Image13.Visible = False
  Image14.Visible = False

  Text6.Visible = False
  Text7.Visible = False
  Text8.Visible = False
  Text9.Visible = False
  Text10.Visible = False
  Text11.Visible = False
  Text12.Visible = False

  Label7.Caption = ""
  Label8.Caption = ""
  Label9.Caption = ""
  Label10.Caption = ""
  Label11.Caption = ""
  Label12.Caption = ""
  Label13.Caption = ""

  Label29.Visible = False
  Label30.Visible = False
  Label31.Visible = False
  Label32.Visible = False
  Label33.Visible = False
  Label34.Visible = False
  Label35.Visible = False

  If Combo1.Text <> "" Then
    Label7.Caption = "r1"
    Label7.ToolTipText = "Radio de la fibra interior"
    Text6.Visible = True
  End If
End Sub
```

```
Text6.ToolTipText = "Radio de la fibra interior"  
Label29.Visible = True  
End If
```

```
Select Case Combol.Text
```

```
Case "Rectangular"  
CargaImagen1  
Image4.Visible = True  
Label8.Caption = "h"  
Label9.Caption = "b"  
Label8.ToolTipText = "Altura"  
Label9.ToolTipText = "Base"  
Text7.ToolTipText = "Altura"  
Text8.ToolTipText = "Base"  
Text7.Visible = True  
Text8.Visible = True  
Label30.Visible = True  
Label31.Visible = True
```

```
Case "Triangular"  
Image5.Visible = True  
Label8.Caption = "h"  
Label9.Caption = "b"  
Label8.ToolTipText = "Altura"  
Label9.ToolTipText = "Base"  
Text7.ToolTipText = "Altura"  
Text8.ToolTipText = "Base"  
Text7.Visible = True  
Text8.Visible = True  
Label30.Visible = True  
Label31.Visible = True
```

```
Case "Circular"  
Image6.Visible = True  
Label8.Caption = "d"  
Label8.ToolTipText = "Diámetro de la sección"  
Text7.ToolTipText = "Diámetro de la sección"  
Text7.Visible = True  
Label30.Visible = True
```

```
Case "Elipsoidal"  
Image8.Visible = True  
Label8.Caption = "h"  
Label9.Caption = "b"  
Label8.ToolTipText = "h"  
Label9.ToolTipText = "b"  
Text7.ToolTipText = "h"  
Text8.ToolTipText = "b"  
Text7.Visible = True  
Text8.Visible = True  
Label30.Visible = True  
Label31.Visible = True
```

```
Case "Trapezoidal"  
Image7.Visible = True  
Label8.Caption = "h"
```

```
Label9.Caption = "b1"
Label10.Caption = "b2"
Label8.ToolTipText = "Altrura"
Label9.ToolTipText = "Base interior"
Label10.ToolTipText = "Base exterior"
Text7.ToolTipText = "Altrura"
Text8.ToolTipText = "Base interior"
Text9.ToolTipText = "Base exterior"
Text7.Visible = True
Text8.Visible = True
Text9.Visible = True
Label30.Visible = True
Label31.Visible = True
Label32.Visible = True

Case "      ' T '"
  CargaImagen1
  Image9.Visible = True
  Label8.Caption = "h"
  Label9.Caption = "h1"
  Label10.Caption = "b"
  Label11.Caption = "b2"
  Label8.ToolTipText = "Altura total"
  Label9.ToolTipText = "Altura del patín"
  Label10.ToolTipText = "Base del patín"
  Label11.ToolTipText = "Espesor del alma"
  Text7.ToolTipText = "Altura total"
  Text8.ToolTipText = "Altura del patín"
  Text9.ToolTipText = "Base del patín"
  Text10.ToolTipText = "Espesor del alma"
  Text7.Visible = True
  Text8.Visible = True
  Text9.Visible = True
  Text10.Visible = True
  Label30.Visible = True
  Label31.Visible = True
  Label32.Visible = True
  Label33.Visible = True

Case "      ' I '"
  CargaImagen1
  Image10.Visible = True
  Label8.Caption = "h"
  Label9.Caption = "h1"
  Label10.Caption = "h3"
  Label11.Caption = "b"
  Label12.Caption = "b2"
  Label13.Caption = "b3"
  Label8.ToolTipText = "Altura total"
  Label9.ToolTipText = "Altura del patín interior"
  Label10.ToolTipText = "Altura del patín exterior"
  Label11.ToolTipText = "Base del patín interior"
  Label12.ToolTipText = "Espesor del alma"
  Label13.ToolTipText = "Base del patín exterior"
  Text7.ToolTipText = "Altura total"
  Text8.ToolTipText = "Altura del patín interior"
  Text9.ToolTipText = "Altura del patín exterior"
```

```
Text10.ToolTipText = "Base del patín interior"
Text11.ToolTipText = "Espesor del alma"
Text12.ToolTipText = "Base del patín exterior"
Text7.Visible = True
Text8.Visible = True
Text9.Visible = True
Text10.Visible = True
Text11.Visible = True
Text12.Visible = True
Label30.Visible = True
Label31.Visible = True
Label32.Visible = True
Label33.Visible = True
Label34.Visible = True
Label35.Visible = True

Case "Tubular rectangular"
  CargaImagen1
  Image11.Visible = True
  Label8.Caption = "h"
  Label9.Caption = "h1"
  Label10.Caption = "h3"
  Label11.Caption = "b"
  Label12.Caption = "b2"
  Label8.ToolTipText = "Altura total"
  Label9.ToolTipText = "Altura del patín interior"
  Label10.ToolTipText = "Altura del patín exterior"
  Label11.ToolTipText = "Base total"
  Label12.ToolTipText = "Espesor de las almas"
  Text7.ToolTipText = "Altura total"
  Text8.ToolTipText = "Altura del patín interior"
  Text9.ToolTipText = "Altura del patín exterior"
  Text10.ToolTipText = "Base total"
  Text11.ToolTipText = "Espesor de las almas"
  Text7.Visible = True
  Text8.Visible = True
  Text9.Visible = True
  Text10.Visible = True
  Text11.Visible = True
  Label30.Visible = True
  Label31.Visible = True
  Label32.Visible = True
  Label33.Visible = True
  Label34.Visible = True

Case "Tubular circular"
  Image12.Visible = True
  Label8.Caption = "d1"
  Label9.Caption = "d2"
  Label8.ToolTipText = "Diámetro exterior"
  Label9.ToolTipText = "Diámetro interior"
  Text7.ToolTipText = "Diámetro exterior"
  Text8.ToolTipText = "Diámetro interior"
  Text7.Visible = True
  Text8.Visible = True
  Label30.Visible = True
  Label31.Visible = True
```

```
Case "Tubular elipsoidal"
  Image13.Visible = True
  Label8.Caption = "h1"
  Label9.Caption = "h2"
  Label10.Caption = "b1"
  Label11.Caption = "b2"
  Label8.ToolTipText = "h1"
  Label9.ToolTipText = "h2"
  Label10.ToolTipText = "b1"
  Label11.ToolTipText = "b2"
  Text7.ToolTipText = "h1"
  Text8.ToolTipText = "h2"
  Text9.ToolTipText = "b1"
  Text10.ToolTipText = "b2"
  Text7.Visible = True
  Text8.Visible = True
  Text9.Visible = True
  Text10.Visible = True
  Label30.Visible = True
  Label31.Visible = True
  Label32.Visible = True
  Label33.Visible = True

Case "Compuesta gancho"
  Image14.Visible = True
  Label8.Caption = "h1"
  Label9.Caption = "h2"
  Label10.Caption = "h3"
  Label11.Caption = "b1"
  Label12.Caption = "b2"
  Label8.ToolTipText = "Altura de la semielipse"
  Label9.ToolTipText = "Altura del trapecio"
  Label10.ToolTipText = "Altura del segmento circular"
  Label11.ToolTipText = "Base interior"
  Label12.ToolTipText = "base exterior"
  Text7.ToolTipText = "Altura de la semielipse"
  Text8.ToolTipText = "Altura del trapecio"
  Text9.ToolTipText = "Altura del segmento circular"
  Text10.ToolTipText = "Base interior"
  Text11.ToolTipText = "base exterior"
  Text7.Visible = True
  Text8.Visible = True
  Text9.Visible = True
  Text10.Visible = True
  Text11.Visible = True
  Label30.Visible = True
  Label31.Visible = True
  Label32.Visible = True
  Label33.Visible = True
  Label34.Visible = True

End Select

End Sub

Public Sub CUnidades()
```

```
' Asignación del sistema de unidades *****
If SI.Checked = True Then
  Label25.Caption = "kN"
  Label26.Caption = "kN"
  Label27.Caption = "kN-m"
  Label28.Caption = "mm"
  Label29.Caption = "mm"
  Label30.Caption = "mm"
  Label31.Caption = "mm"
  Label32.Caption = "mm"
  Label33.Caption = "mm"
  Label34.Caption = "mm"
  Label35.Caption = "mm"
  Label36.Caption = "mm"
  Label37.Caption = "mm"
  Label38.Caption = "mm"
  Label39.Caption = "mm 2 "
  Label40.Caption = "mm"
  Label41.Caption = "kN-m"
  Label42.Caption = "MPa"
  Label43.Caption = "MPa"
  Label44.Caption = "MPa"
  Label45.Caption = "mm"
  Label46.Caption = "mm"
  Label47.Caption = "mm 2 "
  Label48.Caption = "MPa"
  Label49.Caption = "mm"
  L_factor = 0.001
  M_factor = 1
  S_factor = 0.001
End If
If BS1.Checked = True Or BS2.Checked = True Then
  Label25.Caption = "kip"
  Label26.Caption = "kip"
  Label28.Caption = "in"
  Label29.Caption = "in"
  Label30.Caption = "in"
  Label31.Caption = "in"
  Label32.Caption = "in"
  Label33.Caption = "in"
  Label34.Caption = "in"
  Label35.Caption = "in"
  Label36.Caption = "in"
  Label37.Caption = "in"
  Label38.Caption = "in"
  Label39.Caption = "in 2 "
  Label40.Caption = "in"
  Label42.Caption = "ksi"
  Label43.Caption = "ksi"
  Label44.Caption = "ksi"
  Label45.Caption = "in"
  Label46.Caption = "in"
  Label47.Caption = "in 2 "
  Label48.Caption = "ksi"
  Label49.Caption = "in"
  L_factor = 1
  S_factor = 1
```

```

If BS1.Checked = True Then
  Label27.Caption = "kip-in"
  Label41.Caption = "kip-in"
  M_factor = 1
Else
  Label27.Caption = "kip-ft"
  Label41.Caption = "kip-ft"
  M_factor = 12
End If
End If
If ADIM.Checked = True Then
  Label25.Caption = "F"
  Label26.Caption = "F"
  Label27.Caption = "F-L"
  Label28.Caption = "L"
  Label29.Caption = "L"
  Label30.Caption = "L"
  Label31.Caption = "L"
  Label32.Caption = "L"
  Label33.Caption = "L"
  Label34.Caption = "L"
  Label35.Caption = "L"
  Label36.Caption = "L"
  Label37.Caption = "L"
  Label38.Caption = "L"
  Label39.Caption = "L 2"
  Label40.Caption = "L"
  Label41.Caption = "F-L"
  Label42.Caption = "F/L2"
  Label43.Caption = "F/L2"
  Label44.Caption = "F/L2"
  Label45.Caption = "L"
  Label46.Caption = "L"
  Label47.Caption = "L 2"
  Label48.Caption = "F/L2"
  Label49.Caption = "L"
  L_factor = 1
  M_factor = 1
  S_factor = 1
End If
End Sub

Public Sub DESBORD()
' Prevención de desbordamiento de variables *****

If Val(Text1.Text) > 1E+17 Then
  Text1.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text1.Text) < -1E+17 Then
  Text1.Text = "-1E+17"
End If

If Val(Text2.Text) > 1E+17 Then
  Text2.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text2.Text) < -1E+17 Then
  Text2.Text = "-1E+17"

```

```
End If

If Val(Text3.Text) > 1E+17 Then
    Text3.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text3.Text) < -1E+17 Then
    Text3.Text = "-1E+17"
End If

If Val(Text4.Text) > 1E+17 Then
    Text4.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text4.Text) < -1E+17 Then
    Text4.Text = "-1E+17"
End If

If Val(Text5.Text) > 1E+17 Then
    Text5.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text5.Text) < -1E+17 Then
    Text5.Text = "-1E+17"
End If

If Val(Text6.Text) > 1E+17 Then
    Text6.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text6.Text) < -1E+17 Then
    Text6.Text = "-1E+17"
End If

If Val(Text7.Text) > 1E+17 Then
    Text7.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text7.Text) < -1E+17 Then
    Text7.Text = "-1E+17"
End If

If Val(Text8.Text) > 1E+17 Then
    Text8.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text8.Text) < -1E+17 Then
    Text8.Text = "-1E+17"
End If

If Val(Text9.Text) > 1E+17 Then
    Text9.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text9.Text) < -1E+17 Then
    Text9.Text = "-1E+17"
End If

If Val(Text10.Text) > 1E+17 Then
    Text10.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text10.Text) < -1E+17 Then
    Text10.Text = "-1E+17"
End If
```

```

If Val(Text11.Text) > 1E+17 Then
  Text11.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text11.Text) < -1E+17 Then
  Text11.Text = "-1E+17"
End If

If Val(Text12.Text) > 1E+17 Then
  Text12.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text12.Text) < -1E+17 Then
  Text12.Text = "-1E+17"
End If

If Val(Text13.Text) > 1E+17 Then
  Text13.Text = "1E+17"
End If
If Val(Text13.Text) < -1E+17 Then
  Text13.Text = "-1E+17"
End If

' Toma de valores
If Frame3.Visible = True Then
  P = Val(Text2.Text)
  Z = (Val(Text3.Text) / 180) * 3.141592
  MO = Val(Text4.Text)
  L2 = Val(Text5.Text)
Else
  P = Val(Text1.Text)
End If
R1 = Val(Text6.Text)
Select Case Comb1.Text
  Case "Rectangular"
    H = Val(Text7.Text)
    B = Val(Text8.Text)
  Case "Triangular"
    H = Val(Text7.Text)
    B = Val(Text8.Text)
  Case "Circular"
    H = Val(Text7.Text)
  Case "Elipsoidal"
    H = Val(Text7.Text)
    B = Val(Text8.Text)
  Case "Trapezoidal"
    H = Val(Text7.Text)
    B1 = Val(Text8.Text)
    B2 = Val(Text9.Text)
  Case "      ' T '"
    H = Val(Text7.Text)
    H1 = Val(Text8.Text)
    B = Val(Text9.Text)
    B2 = Val(Text10.Text)
  Case "      ' I '"
    H = Val(Text7.Text)
    H1 = Val(Text8.Text)
    H3 = Val(Text9.Text)

```

```
B = Val(Text10.Text)
B2 = Val(Text11.Text)
B3 = Val(Text12.Text)
Case "Tubular rectangular"
H = Val(Text7.Text)
H1 = Val(Text8.Text)
H3 = Val(Text9.Text)
B = Val(Text10.Text)
B2 = Val(Text11.Text)
Case "Tubular circular"
H1 = Val(Text7.Text)
H2 = Val(Text8.Text)
Case "Tubular elipsoidal"
H1 = Val(Text7.Text)
H2 = Val(Text8.Text)
B1 = Val(Text9.Text)
B2 = Val(Text10.Text)
Case "Compuesta gancho"
H1 = Val(Text7.Text)
H2 = Val(Text8.Text)
H3 = Val(Text9.Text)
B1 = Val(Text10.Text)
B2 = Val(Text11.Text)

End Select
R = Val(Text13.Text)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()
Text1.Text = ""
Text2.Text = ""
Text3.Text = ""
Text4.Text = ""
Text5.Text = ""
Text6.Text = ""
Text7.Text = ""
Text8.Text = ""
Text9.Text = ""
Text10.Text = ""
Text11.Text = ""
Text12.Text = ""
Text13.Text = ""
Text14.Text = ""
Text15.Text = ""
Text16.Text = ""
Text17.Text = ""
Text18.Text = ""
Text19.Text = ""
Text20.Text = ""
Text21.Text = ""
Text22.Text = ""
Text23.Text = ""
Text24.Text = ""
Text25.Text = ""
Text26.Text = ""
End Sub
```

```
' Llamados de los controles a procedimientos *****
Private Sub Form_KeyUp(KeyCode As Integer, Shift As Integer)
    DESBORD
    CUnidades
    CALCULUS
End Sub

Private Sub Form_Load()
    CargaImagen1
    CargaImagen2
End Sub

Private Sub Combol_Click()
    CargaImagen1
    CargaImagen2
    CUnidades
    DESBORD
    CALCULUS
End Sub

Private Sub Check1_Click()
    CargaImagen1
End Sub

Private Sub Option1_Click()
    CargaImagen1
    CUnidades
    DESBORD
    CALCULUS
End Sub

Private Sub Option2_Click()
    CargaImagen1
    CUnidades
    DESBORD
    CALCULUS
End Sub

' Marcado de la CheckBox mediante el teclado *****
Private Sub Check1_KeyDown(KeyCode As Integer, Shift As Integer)
    If Check1.Value = Unchecked Then
        Check1.Value = Checked
    Else
        Check1.Value = Unchecked
    End If
End Sub

' Descarga del formulario Acerca cuando VCURVA ES CERRADO *****
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
    Unload Acerca
End Sub

' Código asociado a las opciones del Menú *****
```

```
Private Sub SI_Click()  
    SI.Checked = True  
    BS1.Checked = False  
    BS2.Checked = False  
    ADIM.Checked = False  
    CUnidades  
    DESBORD  
    CALCULUS  
End Sub  
  
Private Sub BS1_Click()  
    SI.Checked = False  
    BS1.Checked = True  
    BS2.Checked = False  
    ADIM.Checked = False  
    CUnidades  
    DESBORD  
    CALCULUS  
End Sub  
  
Private Sub BS2_Click()  
    SI.Checked = False  
    BS1.Checked = False  
    BS2.Checked = True  
    ADIM.Checked = False  
    CUnidades  
    DESBORD  
    CALCULUS  
End Sub  
  
Private Sub ADIM_Click()  
    SI.Checked = False  
    BS1.Checked = False  
    BS2.Checked = False  
    ADIM.Checked = True  
    CUnidades  
    DESBORD  
    CALCULUS  
End Sub  
  
Private Sub Imprimir1_Click()  
    RESPRN = MsgBox("                ¿Continuar impresión? ", 4)  
    If RESPRN = 6 Then  
        On Error Resume Next  
        Err.Clear  
        VCURVA.PrintForm  
        If Err.Number = 482 Then  
            MsgBox "La impresora no está lista."  
        End If  
    End If  
End Sub  
  
Private Sub Acerca_Click()  
    Load Acerca  
    Acerca.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Salir1_Click()  
    Unload Me  
End Sub  
  
' Sombreado del texto en las TextBoxes cuando obtienen el foco      *****  
  
Private Sub Text1_GotFocus()  
    Text1.SelStart = 0  
    Text1.SelLength = Len(Text1.Text)  
End Sub  
  
Private Sub Text2_GotFocus()  
    Text2.SelStart = 0  
    Text2.SelLength = Len(Text2.Text)  
End Sub  
  
Private Sub Text3_GotFocus()  
    Text3.SelStart = 0  
    Text3.SelLength = Len(Text3.Text)  
End Sub  
  
Private Sub Text4_GotFocus()  
    Text4.SelStart = 0  
    Text4.SelLength = Len(Text4.Text)  
End Sub  
  
Private Sub Text5_GotFocus()  
    Text5.SelStart = 0  
    Text5.SelLength = Len(Text5.Text)  
End Sub  
  
Private Sub Text6_GotFocus()  
    Text6.SelStart = 0  
    Text6.SelLength = Len(Text6.Text)  
End Sub  
  
Private Sub Text7_GotFocus()  
    Text7.SelStart = 0  
    Text7.SelLength = Len(Text7.Text)  
End Sub  
  
Private Sub Text8_GotFocus()  
    Text8.SelStart = 0  
    Text8.SelLength = Len(Text8.Text)  
End Sub  
  
Private Sub Text9_GotFocus()  
    Text9.SelStart = 0  
    Text9.SelLength = Len(Text9.Text)  
End Sub  
  
Private Sub Text10_GotFocus()  
    Text10.SelStart = 0  
    Text10.SelLength = Len(Text10.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text11_GotFocus()  
    Text11.SelStart = 0  
    Text11.SelLength = Len(Text11.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text12_GotFocus()  
    Text12.SelStart = 0  
    Text12.SelLength = Len(Text12.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text13_GotFocus()  
    Text13.SelStart = 0  
    Text13.SelLength = Len(Text13.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text14_GotFocus()  
    Text14.SelStart = 0  
    Text14.SelLength = Len(Text14.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text15_GotFocus()  
    Text15.SelStart = 0  
    Text15.SelLength = Len(Text15.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text16_GotFocus()  
    Text16.SelStart = 0  
    Text16.SelLength = Len(Text16.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text17_GotFocus()  
    Text17.SelStart = 0  
    Text17.SelLength = Len(Text17.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text18_GotFocus()  
    Text18.SelStart = 0  
    Text18.SelLength = Len(Text18.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text19_GotFocus()  
    Text19.SelStart = 0  
    Text19.SelLength = Len(Text19.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text20_GotFocus()  
    Text20.SelStart = 0  
    Text20.SelLength = Len(Text20.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text21_GotFocus()  
    Text21.SelStart = 0  
    Text21.SelLength = Len(Text21.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text22_GotFocus()  
    Text22.SelStart = 0
```

```
Text22.SelLength = Len(Text22.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text23_GotFocus()  
Text23.SelStart = 0  
Text23.SelLength = Len(Text23.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text24_GotFocus()  
Text24.SelStart = 0  
Text24.SelLength = Len(Text24.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text25_GotFocus()  
Text25.SelStart = 0  
Text25.SelLength = Len(Text25.Text)  
End Sub
```

```
Private Sub Text26_GotFocus()  
Text26.SelStart = 0  
Text26.SelLength = Len(Text26.Text)  
End Sub
```

GLOSARIO

Términos de computación.

Computadora (Ordenador).

Es un aparato capaz de procesar datos, almacenarlos y realizar cálculos.



La figura G1 muestra una computadora convencional. Lo que puede verse en la pantalla del monitor es información producto del accionamiento de un programa ó software.

Hardware (Parte dura).

Es La parte física, tangible de una computadora.

El hardware de una computadora convencional lo forman la unidad central de proceso (CPU), los dispositivos de entrada y salida, y los periféricos.

Los dispositivos de entrada de datos son: teclado, ratón, unidades de lectura / escritura de discos. Los dispositivos de salida de información: monitor, bocinas,

unidades de lectura / escritura de discos. Entre los periféricos se encuentran: impresora, fax, etc.

Software (Parte blanda).

El software es el conjunto de programas necesarios para que la computadora realice una función en particular. También se dice que es la lógica de la computadora.

El software no es tangible, esto es, no puede verse o escucharse. Lo que se puede ver o escuchar es la manifestación del software a través de los dispositivos que integran al hardware [1].

Haciendo una analogía con el ser humano, el hardware sería todo el cuerpo, incluido el cerebro. El software es análogo a la mente, que no es tangible, pero que controla la totalidad del hardware o del cuerpo.

Programa.

Es un conjunto de instrucciones que indica a la computadora las operaciones que debe hacer. La razón para crear un programa es el procesar datos y obtener como resultado información. Los términos *programa* y *aplicación* son sinónimos.

Datos.

Representación de algún hecho, concepto o entidad real (los datos pueden tomar diferentes formas; por ejemplo, palabras escritas o habladas, números y dibujos).

Memoria.

Es la capacidad de almacenar datos o información para su posterior procesamiento. Existen dos tipos de memoria: RAM y ROM.

Memoria RAM.

Memoria de acceso aleatorio cuyo contenido permanecerá presente mientras la computadora permanezca encendida.

Memoria ROM.

Memoria de solo lectura. Unidad de memoria que solo almacena permanentemente instrucciones y datos de los fabricantes.

Variable.

Es una localidad de memoria que contiene datos y recibe un nombre único dado por el programador, mantiene los datos asignados a ella hasta que un nuevo valor se le asigne o hasta que el programa termine.

Información.

Es un conjunto de datos procesados y organizados.

Algoritmo.

Las personas realizan actividades diariamente. Muchas de esas actividades se hacen en varias etapas o pasos. A veces estos pasos deben llevarse a cabo en un orden lógico para hacer correctamente la actividad. El vestirse por ejemplo, es un caso típico. Suponga que está desnudo y va a vestirse. Primero debe ponerse la ropa interior, luego la camisa y el pantalón, y al último el sweater y los zapatos. Imagine que no sigue este orden. Que se pone el zapato antes del calcetín o el sweater antes de la camisa. No quedaría correctamente vestido. He aquí la importancia de no solo ejecutar los pasos de una actividad, sino también de llevarlos a cabo en un orden tal que la actividad quede correctamente realizada. De acuerdo a esto, se puede definir entonces al algoritmo como una secuencia lógica de pasos a seguir para llevar a cabo una actividad.

El algoritmo en la programación.

En la programación existe la necesidad de la previa elaboración del algoritmo. Esto se debe a que la ejecución de un programa se lleva a cabo en una forma secuencial, con un orden lógico. Por ejemplo, si se desarrolla un programa que realice la suma de dos números, primero se debe pedir al usuario que introduzca las cantidades a sumar para su posterior procesamiento y al final desplegar el resultado. No se podrían sumar

las cantidades si no se han pedido sus valores, o desplegar el resultado sin haberlas sumado antes. Puede ser que el ejemplo anterior resulte demasiado sencillo, al grado de pensar que no siempre se requiere del algoritmo. Pocas veces esto es así. Conforme la complejidad de un programa aumenta se hace más evidente la necesidad de la elaboración del algoritmo, esto con la finalidad de visualizar correctamente lo que se va a programar, y así evitar errores [1].

Hace media cuartilla que se ha estado hablando del algoritmo, pero, ¿Cómo se expresa un algoritmo en el papel?

Por muchos años el diagrama de flujo ha sido la mejor forma de representar el algoritmo en papel. Sin embargo con el surgimiento de lenguajes de programación visual (P.E. Visual BASIC, Visual C++) y lenguajes orientados a objetos (P.E. Java), cuya estructuración hace que la complejidad de programación sea menor, el diagrama de flujo ha entrado en desuso.

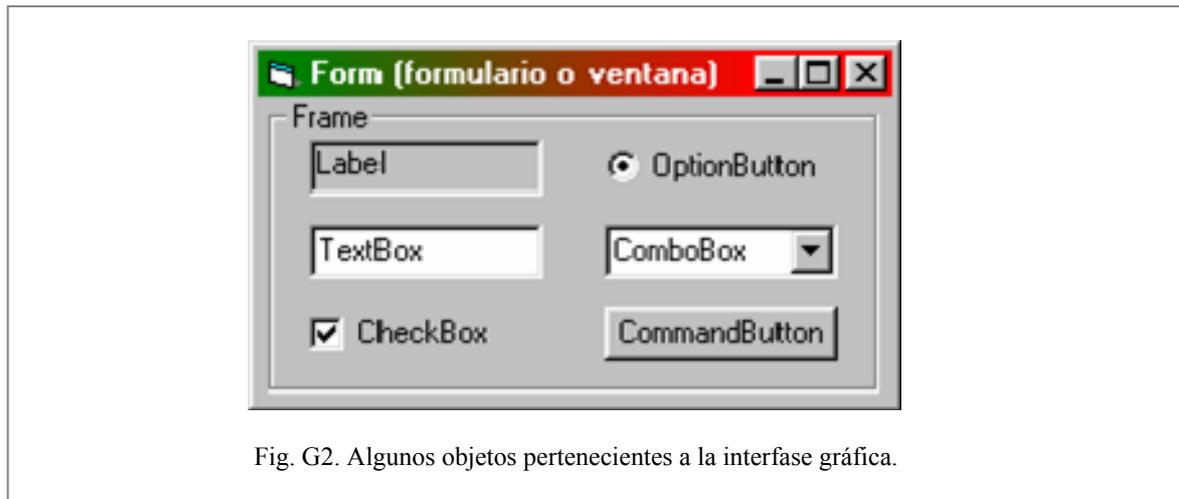
La forma que será empleada para representar algoritmos en esta tesis, será como una lista de puntos que deberá contener el programa, puesto que VCURVA será desarrollado en Visual BASIC (VB), un lenguaje de programación visual.

Lenguaje de programación.

Así como en la vida ordinaria existen idiomas y dialectos, en programación existen lenguajes. Un lenguaje de programación es un código integrado por palabras específicas. La combinación de estas palabras forman instrucciones, y la secuencia de instrucciones es el código fuente.

Lenguaje de programación visual.

Cuando se cuenta con una interfase gráfica (conjunto de objetos gráficos) con los que puede interactuar el usuario, el lenguaje empleado para programar esta interfase es un lenguaje de programación visual.



Un ejemplo claro es el sistema operativo Windows. Cualquier cosa se hace a través de ventanas. Estas tienen objetos relativamente pequeños llamados íconos, el escritorio también los tiene. Además hay otros objetos como los cuadros de texto, casillas de verificación, etc. Los usuarios interactúan con todos estos objetos. Cada ventana es un programa o un subprograma, y todos ellos han sido desarrollados en un lenguaje de programación visual, casi siempre Visual BASIC.

Cada objeto que se ve en la pantalla ha sido programado, es decir, se ha escrito código fuente para que el objeto reaccione de alguna forma en particular a la acción del usuario, misma que ocurre a través del teclado, ratón, u otro dispositivo de entrada.

Código fuente.

Programa en su forma original, tal y como fue escrito por el programador, el código fuente no es ejecutable directamente por la computadora, debe convertirse en un lenguaje entendible por la máquina mediante un proceso de compilación.

Compilador.

Programa que sirve para traducir el lenguaje de programación a lenguaje de máquina. Existen dos formas de compilación:

- *En memoria*: La traducción del código fuente queda cargada en la memoria RAM para su ejecución. En este tipo de compilación siempre se requiere del entorno del compilador para la ejecución del código fuente.
- *En disco*. En un disco duro o en un disquete, el compilador crea un archivo donde escribe el programa traducido para su posterior accionamiento. A este archivo se le denomina *ejecutable*, ya que puede ejecutarse desde el sistema operativo en forma directa, sin necesidad del entorno del compilador.

Términos de mecánica de materiales.

Carga. Es la acción de un cuerpo sobre otro.

Sección transversal (sección). Es la vista de un cuerpo cuando este es cortado en forma perpendicular a su eje longitudinal o en forma colineal a su radio de curvatura (vigas curvas).

Momento de inercia (de área). Es una medida de la resistencia de la sección a girar respecto a un eje determinado.

Centroide (centro geométrico). Punto donde puede considerarse concentrada el área de una sección.

Eje centroidal (eje de inercia). Eje que pasa por el centroide de un área o sección.

Superficie de esfuerzos cero. Superficie donde no se presentan esfuerzos normales.

Eje neutro. Es una traza de la superficie de esfuerzos cero. Cuando se trata de flexión uniaxial hay dos ejes neutros: uno es el eje longitudinal del elemento o viga y el otro es el eje de inercia respecto al cual tiende a girar la sección.

Esfuerzo. Es la fracción de la fuerza interna (por unidad de área) generada en un punto de un cuerpo cuando este último se encuentra bajo la acción de una carga [1].

En general existen dos tipos de esfuerzos:

Esfuerzo normal. Es el esfuerzo direccionado en forma perpendicular al área en la que actúa. Los tipos de esfuerzo normal son: axial y por flexión. El símbolo para el esfuerzo normal es la letra σ .

Esfuerzo cortante. Es el esfuerzo direccionado en forma tangente al área en la que actúa. Los tipos de esfuerzo cortante son: promedio, transversal (en vigas), y por torsión. El símbolo para el esfuerzo cortante es la letra τ .

En un cuerpo teórico pueden existir esfuerzos puros o combinados:

Esfuerzo puro. Es cuando se encuentra solo un tipo de esfuerzo en la sección.

Esfuerzo combinado. Es cuando se encuentran dos o más tipos de esfuerzos en la sección.

REFERENCIAS.

- [1] DESARROLLO DE SOFTWARE PARA LA REALIZACIÓN DE CÁLCULOS EN INGENIERÍA MECÁNICA.
Juan Pedro Pacheco Muñoz. IPN-ESIME-UPA. México, 2005.