

**IMPLEMENTACION DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO Y EVALUACION DE
RESISTENCIA CON SOLICITACIONES UNIAXIALES Y BIAXIALES DE
ELEMENTOS DE ESTRUCTURAS APORTICADAS EN CONCRETO
REFORZADO**

**JORGE ARTURO CALVACHE NARVAEZ
EDUAR JAVIER PANTOJA USAMA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO**

2008

**IMPLEMENTACION DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO Y EVALUACION DE
RESISTENCIA CON SOLICITACIONES UNIAXIALES Y BIAXIALES DE
ELEMENTOS DE ESTRUCTURAS APORTICADAS EN CONCRETO
REFORZADO**

**JORGE ARTURO CALVACHE NARVAEZ
EDUAR JAVIER PANTOJA USAMA**

**TRABAJO DE GRADO EN LA
MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION**

**Director:
MICHEL BOLAÑOS GUERRERO I. C. ESP**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO**

2008

“las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son responsabilidad exclusiva del autor”.

Artículo 1 del acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

MICHEL BOLAÑOS GUERRERO
Director de tesis

CARLOS BUCHELLI
Jurado

VICENTE PARRA SANTACRUZ
Jurado

San Juan de Pasto, 27 de Mayo de 2008

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE ANEXOS	8
GLOSARIO	9
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	17
1. JUSTIFICACIÓN	19
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
3. DELIMITACION DEL PROYECTO	23
4. OBJETIVOS	25
4.1. OBJETIVO GENERAL	25
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
5. MARCO DE REFERENCIA	27
5.1. ANTECEDENTES	27
5.2. MARCO TEÓRICO	28
5.2.1 Flexión	31
5.2.2 Flexión y carga Axial	33
5.2.3 Esfuerzo Cortante	41
5.2.4 Torsión	44

6. METODOLOGÍA	46
7. MANUAL DE PROCEDIMIENTO	48
8. MANUAL DE USUARIO	74
9. CONCLUSIONES	77
10. RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFIA	80
ANEXOS	82

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Diagrama de interacción de las resistencias	34
Figura 2 Superficie de interacción biaxial	35
Figura 3 Contorno de carga adimensional	38
Figura 4 Contorno de cargas adimensionales para P_n constantes.	38
Figura 5 Relación de resistencia al momento biaxial.	41
Figura 6 Menú principal.	51
Figura 7 Posición del eje neutro y diagrama de fuerzas.	52
Figura 8 Curva Momento resistente vs. Área de acero.	53
Figura 9 Curva idealizada esfuerzo deformación para el concreto en compresión uniaxial.	54
Figura 10 Análisis de los esfuerzos presentes en los materiales.	55
Figura 11 Editor de áreas.	56
Figura 12 Imagen ilustrativa para la asignación del acero de refuerzo en columnas	57
Figura 13 Curva de interacción para análisis de columnas.	58
Figura 14 Menú de selección de diseño.	60
Figura 15 Editor de ecuaciones de momento.	62
Figura 16 Curva Área de acero vs. Momento.	63
Figura 17 Combinaciones suministradas por la base de datos.	63
Figura 18 Editor para distribución de combinación.	64
Figura 19 Gráfico sección con refuerzo seleccionado.	64
Figura 20 Editor de ecuaciones de cortante.	66
Figura 21 Curva separación de flejes vs. Distancia en la viga.	66
Figura 22 Diseño a torsión, Presentación de resultados.	67
Figura 23 Curvas de interacción para diseño de columnas.	71

Figura 24 Determinación de la cuantía por parte del software.	72
Figura 25 Indicador del archivo ayuda	73
Figura 26 Ingreso al panel de control	74
Figura 27 Configuración regional	75

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Diagrama de flujo para el análisis a flexión de vigas rectangulares.	82
Anexo 2 Diagrama de flujo para el análisis de estado de sección vigas rectangulares.	84
Anexo 3 Diagrama de flujo para el análisis de Columnas.	87
Anexo 4 Diagrama de flujo para diseño a flexión biaxial en vigas de sección rectangular.	89
Anexo 5 Diagrama de flujo para el Diseño de columna circular- axial.	92
Anexo 6 Diagrama de flujo para el Diseño de columna rectangular – biaxial.	95
Anexo 7 Diagrama de flujo para el diseño a flexión de vigas de sección rectangular.	97
Anexo 8 Diagrama de flujo para el diseño a cortante de vigas de sección rectangular.	100
Anexo 9 Diagrama de flujo para el diseño a torsión de vigas de sección rectangular.	102
Anexo 10 Diagrama de flujo para el diseño a flexión de vigas de sección T.	104
Anexo 11 Diagrama de flujo para el análisis a flexión de vigas de sección T.	107
Anexo 12 Contenido y creación del archivo de ayuda.	109
Anexo 13 Ejemplos.	112
Anexo 14 Fórmula de control para la posición del eje neutro (Vigas Rectangulares)	119
Anexo 15 Ejemplos de verificación.	120

GLOSARIO

AGREGADO: conjunto de partículas inertes, naturales o artificiales, tales como arena, grava, triturado, etc.

ALTURA EFECTIVA (Peralte efectivo): es la distancia entre el extremo más comprimido y el centro de gravedad del refuerzo de tracción en secciones sometidas a flexión.

CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA: es la capacidad que tiene un sistema estructural, un elemento estructural, o una sección de un elemento estructural, de trabajar dentro del rango inelástico de respuesta sin perder su resistencia.

COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA (ϕ): coeficiente que multiplica la resistencia-nominal para convertirla en resistencia de diseño.

COLUMNA: elemento estructural cuya sollicitación principal es la carga axial de compresión, acompañada o no de momentos flectores, torsión o esfuerzos cortantes y con una relación de longitud a su menor dimensión de la sección de 3 o más.

CONCRETO: mezcla homogénea de material cementante, agregados inertes y agua, con o sin aditivos.

CONCRETO DEL RECUBRIMIENTO: es el concreto localizado por fuera del refuerzo transversal de confinamiento.

CONCRETO REFORZADO: material constituido por concreto que tiene un refuerzo consistente en barras de acero corrugado, estribos transversales o mallas electrosoldadas, colocadas principalmente en las zonas de tracción.

DEFLEXIÓN: la ordenada de la línea elástica, o deformación transversal del elemento estructural.

ESFUERZO: intensidad de fuerza por unidad de área.

ESTRIBO Y FLEJE: elementos que corresponden a una forma de refuerzo transversal, utilizados para resistir esfuerzos cortantes, de torsión y para proveer confinamiento al elemento, consistentes en barras corrugadas, barras lisas, alambres o malla electrosoldada, de una o varias ramas.

MÓDULO DE ELASTICIDAD: relación entre el esfuerzo de tracción o de compresión y la deformación unitaria producida por aquel.

MOMENTO POSITIVO: el que produce esfuerzos de tracción en la cara inferior de vigas y losas.

MOMENTO NEGATIVO: el que produce esfuerzos de tracción en la cara superior de vigas y losas.

REFUERZO TRANSVERSAL: el refuerzo destinado a resistir los efectos de los esfuerzos cortantes y de torsión. Incluye, igualmente, el destinado a impedir el pandeo del refuerzo principal en las columnas o en los elementos sometidos a fuerzas de compresión, y el que produce confinamiento.

RESISTENCIA A LA FLUENCIA (f_y): valor de la resistencia nominal a la fluencia del acero de refuerzo en MPa que se utiliza en el diseño para determinar la resistencia nominal de los elementos de concreto reforzado.

RESISTENCIA NOMINAL DEL CONCRETO A LA COMPRESIÓN (f'_c): resistencia nominal especificada del concreto a la compresión, expresada en MPa, que se utiliza en el diseño para determinar la resistencia nominal de los elementos de concreto reforzado.

RESISTENCIA DE DISEÑO: resistencia nominal de un elemento, o sección de él, multiplicada por un coeficiente de reducción de resistencia ϕ .

RESISTENCIA NOMINAL: resistencia de un elemento, o sección de él, calculada analíticamente de acuerdo con los requisitos y suposiciones del método de resistencia y sin incluir ningún coeficiente de reducción de resistencia.

RESISTENCIA REQUERIDA: resistencia que debe poseer un elemento o sección de él, para que sea capaz de soportar las cargas mayoradas o sus efectos.

VIGA: elemento estructural, horizontal o aproximadamente horizontal, cuya dimensión longitudinal es mayor que las otras dos y su sollicitación principal es el momento flector, acompañado o no de cargas axiales, fuerzas cortantes y torsiones.

RESUMEN

El software es una herramienta pedagógica, programada para revisar y diseñar elementos de una estructura aporticada, columnas y vigas de secciones simétricas estas dentro de estas consideraciones.

Durante la operación del paquete vigas (flexión), el usuario podrá hacer uso de los dos (2) métodos considerados en la norma Colombiana NRS-98, esfuerzos admisibles (ASD) y Carga última (LRFD), observando sus diferencias y visualizando el comportamiento del momento vs. acero, para diferentes condiciones de diseño. Además, podrá considerar los esfuerzos cortantes y de torsión, así como flexión biaxial en secciones rectangulares.

En columnas además de un diseño uniaxial y biaxial se ha provisto al software de herramientas auxiliares que le permiten al usuario observar la curva de interacción o una familia de ellas generadas por un incremento porcentual en el acero con respecto al área de la sección, facilitando el diseño y la revisión de las mismas.

El software posee un editor, que le permite al usuario ingresar ecuaciones de momento y cortante dominantes a lo largo de la viga, permitiendo así realizar un diseño para todos los puntos que allí se establecen y visualizar el comportamiento del elemento, esta interfase puede realizarse directamente con el usuario o desde un archivo base (archivos planos con extensión "txt"). Una pequeña modificación a este editor permite al usuario interactuar con el software, ingresando el área de

acero en columnas y vigas al presentar una base de datos¹ , con un grupo de barras, para escoger la combinación deseada.

Durante la ejecución de software, el usuario podrá hacer uso de archivo *help* donde se encuentra información conceptual sobre los temas y variables que intervienen en los procesos de cálculo, sumado a un convertidor de unidades que facilitara el análisis y el diseño de cualquier ejemplo planteado.

¹ COLOMBIA, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Norma Colombiana de diseño y construcción sismo-resistente: NSR-98. 1 ed. Santafé de Bogotá: 3R Editores; 1999-2001. Pág. 180

ABSTRACT

The software is a pedagogical tool, programmed to check and design elements of a reinforced concrete frame system, made of columns and rafters of symmetrical sections inside these considerations.

Throughout the operation of the rafters' package, the user will be able to make use of both considered methods in the Colombian norm NRS-98, admissible efforts (ASD) and final load (LRFD), observing its differences and visualizing the behaviour of the moment vs. steel, on behalf of different conditions of design. In addition, it will be able to consider the cutting forces and of twist, as well as biaxial flexion in rectangular sections.

In columns besides a uniaxial and biaxial design, the software has been provided with auxiliary tools that allow the user to observe the curve of interaction or a family of them generated by a percentage increase in the steel with regard to the area of the section, facilitating the design and the review of the same ones.

The software has an editor, which allows the user to enter equations of moment and leading cut along the rafter, allowing this way the realization of a design for all the points that are established and to visualize the behaviour of the element, this interface can be carried out directly with the user or from a base file (files with extension ".txt"). A small modification to this editor allows the user to interact with the software, entering the area of steel in columns and rafters when presenting a database, with a group of bars, to choose the desired combination.

During the execution of software, the user will be able to use a help file where he or she will find conceptual information about the topics and variables that control

the processes of calculation, additionally, a converter of units which will facilitate the analysis and the design of any given example.

INTRODUCCIÓN

El avance incesante de la tecnología y el conocimiento, orientados a solucionar y mejorar la calidad de vida del hombre, sin romper la armónica simbiosis con los seres que lo rodean, han llevado a las diferentes ramas de la ciencias a considerar aspectos que no solo den solución a los problemas del diario vivir sino que a la vez sean eficientes, siendo este el precedente para la elaboración del proyecto IMPLEMENTACION DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO Y EVALUACION DE RESISTENCIA CON SOLICITACIONES UNIAXIALES Y BIAXIALES DE ELEMENTOS DE ESTRUCTURAS APORTICADAS EN CONCRETO REFORZADO , proyecto que hace uso de la utilización de una de las herramientas más eficaces que el hombre haya podido crear, el computador, el cual puede desempeñar labores rutinarias a gran velocidad, dejando de esta manera a disposición de los docentes y estudiantes mayor tiempo, que puede ser utilizado para encargarse de otros aspectos fundamentales e importantes durante el proceso de aprendizaje, que le permitan desarrollar al estudiante criterio en la toma de decisiones, durante el ejercicio de su profesión, mejorando la calidad del profesional egresado, y de la institución.

El desarrollo de potentes software en ingeniería civil es bien conocido en el mercado actual, están diseñados para cumplir normas locales y de algunos países considerados importantes en la construcción, restando importancia a proyectos de investigación local en este campo.

Ciertamente el diseño y la evaluación de resistencia de estructuras en concreto reforzado en la actualidad esta ampliamente estudiado y no es el objetivo de este trabajo, entonces el recopilar los conocimientos sobre este tema y convertirlos en una herramienta informática, para el diseño de elementos constitutivos en una

estructura aperturada, para las diferentes condiciones a las cuales se encuentren sometidos los elementos (Flexión uniaxial -biaxial, cortante y torsión).

1. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo del trabajo planteado es justificado por la necesidad de brindar al estudiante un medio más para aclarar sus dudas en cuanto al diseño en concreto reforzado de una estructura y por ende de los elementos estructurales, ahorrando tiempo en los cálculos y permitiendo al estudiante entender y dedicar mas tiempo a los conceptos impartidos en clase. Otro aspecto a resaltar como razón de porque hacer este trabajo es que se brindará la posibilidad de ilustrar como se combinan los diferentes conceptos que se soportan en el campo matemático, físico y empírico que se han adoptado como normas en el diseño, los cuales comúnmente se abordan de manera individual en clase, para ilustrar esto se puede presentar el ejemplo del diseño de una viga de concreto reforzado la cual se debe diseñar de manera general por flexión, por esfuerzo cortante y por torsión, entre otros, estos análisis se sirven de una cantidad de conceptos establecidos en normas y la combinación de estos dan un diseño apropiado. En ocasiones los requerimientos por cortante hacen que se replantee un diseño por flexión, lo mismo pasa cuando se tiene en cuenta el concepto de torsión. Esta noción tan importante con frecuencia podría pasarse por desapercibida en las clases de hormigón armado ya que muchos estudiantes no tienen la velocidad adecuada para captarle al maestro que expone estos conceptos en forma aislada y podría dar lugar a interpretaciones incorrectas que no estén de acuerdo con los criterios de diseño que se persiguen infundir al estudiante. En relación con lo anterior, este trabajo puede ayudar a fortalecer estos vacíos en la materia del diseño de concreto reforzado, una razón más para llevar a cabo este proyecto y recibir apoyo para materializarlo.

Existen programas de diseño o análisis aplicados a la ingeniería en la Universidad de Nariño, pero, enfocados para ser utilizados individualmente, y por lo tanto

quedan inhabilitados para ser utilizados por otros programas, como componentes de paquetes de software más grandes; estos podrían eventualmente ser complementados con el software de diseño de estructuras de concreto reforzado que se está desarrollando como trabajo de grado. Para materializar lo dicho anteriormente, este trabajo hará parte de un paquete de software general dedicado al análisis y diseño estructural que se está trabajando en el Grupo de Investigación de Riesgos, Amenazas y Medio Ambiente coordinado por el ingeniero Michel Bolaños Guerrero, docente del área de estructuras del Departamento de Ingeniería Civil.

Con este proyecto se pretende contribuir a la solución del problema identificado en la Universidad de Nariño y en el país; dando un impulso para generar proyectos de desarrollo de software

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diseño y la evaluación de la resistencia de vigas y columnas² que están sometidas a esfuerzos de flexión biaxial y a otras clases de esfuerzos combinados es complejo y requiere de varias estimaciones para llegar a una solución adecuada en el diseño de una estructura, razón por la cual se debe disponer de una herramienta que facilite la elección de una solución posible, y qué mejor herramienta que el computador, que con su capacidad de realizar cálculos matemáticos en un tiempo record, permite una utilización racional en el manejo de los datos, sin embargo, esta ventaja no produce resultados satisfactorios si no se posee un programa que ordene y procese esa información.

En el programa de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, se generan escasos trabajos de Grado orientados al desarrollo de software de ingeniería civil. Esto podría revelar una debilidad en el programa, ya sea por falta de interés o por temor a hacer algo complejo como lo es el desarrollo de software, considerando que esta es una herramienta muy importante y valiosa, se está dejando de lado, constituyendo un problema para el programa, debido a que en el presente y futuro la informática es un complemento pedagógico necesario en todas las áreas, que de no ser fomentado se generará un estancamiento y por consiguiente una decadencia en la formación de profesionales, además es necesario que los egresados de ingeniería civil le aporten los conceptos y criterios al desarrollo de software y para ello deben tener un conocimiento aunque no profundo, si claro del desarrollo de software en aras de estar bien orientados.

En la actualidad en el mercado existen varios software que se utilizan para el diseño de estructuras en concreto reforzado, pero muy pocos de origen Nacional,

² Toda alusión a los diferentes tipos de esfuerzo que se hace en este documento deben asumirse intrínsecamente de elementos constituidos de concreto reforzado.

lo que conlleva a incrementar la brecha entre los países desarrollados en este tipo de tecnología y el nuestro, creando una alta dependencia de este tipo de software, los cuales por su rapidez y precisión hacen más competitivo a un ente o persona, generando una desventaja muy significativa para aquellos que no pueden emplear este tipo de tecnología debido a la dificultad económica para poder adquirirlos por el alto costo que debe pagar (SAP2000 cuyo valor comercial es de \$ 19'200.000).

3. DELIMITACION DEL PROYECTO

El proyecto comprende tres partes fundamentales:

- El proyecto esta orientado para ser didáctico e ilustrativo y ayuda a el estudiante a comprender mejor los conceptos de diseño de concreto reforzado.
- El proyecto, Para su aplicación didáctica de diseño de concreto reforzado tiene su base conceptual en la norma Colombiana sismorresistente NSR-98.
- El proyecto es parte integral del paquete computacional³ de Análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado, que esta en fase de desarrollo por parte del Grupo GRAMA⁴ de La Universidad de Nariño, el cual brindará resultados del análisis previos a este diseño (ecuaciones de momento y cortante).
- El proyecto esta limitado al diseño en forma exclusiva de elementos que hacen parte de estructuras aporticadas de concreto reforzado por separado (vigas y Columnas).
- Los elementos de concreto a diseñar, objeto del proyecto son macizos, prismáticos y esbeltos, para sección rectangular, “T” e “I” en vigas, así como rectangular y circular en columnas.

³ Software para el análisis y diseño de estructuras aporticadas en concreto reforzado

⁴ Grupo de investigación de riesgos, amenazas y medio ambiente

- Para el diseño de los elementos estructurales (vigas) se puede hacer uso de una herramienta que le permite al usuario ingresar las diferentes ecuaciones de momento y cortante generadas por las distintas cargas de trabajo para las cuales se diseña la viga, ya que el software no es esta diseñado para realizar este tipo de análisis (determinación de ecuaciones de acuerdo a condiciones de apoyos y cargas).
- El software permite al usuario además del diseño de los elementos estructurales (vigas y columnas), revisar la resistencia máxima partiendo de secciones y refuerzo previamente conocidos.
- El software proporciona los resultados en una interfase visual mostrando las condiciones de diseño o revisión según sea el caso.
- En el proyecto se hace hincapié en el buen funcionamiento de los modelos teóricos y del software, limitando en lo esencial los objetos componentes del mismo. Pues hacer un despliegue de lujo en el aspecto de ingeniería de software esta fuera del alcance del proyecto dado que se requiere de la conformación de un grupo grande de especialistas y además de un mayor lapso de tiempo involucrando así en un costo injustificado para un proyecto de trabajo de grado.
- El proyecto queda delimitado por lo anotado en los incisos anteriores y por los objetivos propuestos en este documento.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una herramienta computacional para revisar y diseñar elementos componentes de estructuras aporricadas (vigas y columnas), complementaria a los proyectos que viene realizando el Grupo de Investigación en Riesgos, Amenazas y Medio Ambiente GRAMA.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener una herramienta pedagógica para el diseño de elementos constitutivos de una estructura aporricada en concreto reforzado e igualmente evaluar la resistencia de estos.
- Obtener un software que genere gráficos que ilustren el diseño de acero requerido.
- Lograr un software que genere el diseño por flexión incluyendo cuantía requerida y cuantía suministrada y la vez evalúe la resistencia.
- Lograr un software para evaluar la resistencia a cortante.
- Obtener un software que suministre diseño a la torsión y evalúe su resistencia.
- Obtener un software que genere el diseño de diagramas de interacción en columnas.

- Realizar el componente de ayuda general de la aplicación.
- Elaborar un manual de usuario y un manual de procedimiento, en el que se anotará como se realizó el trabajo desarrollado en el proyecto.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. ANTECEDENTES

La rapidez con que se vienen desarrollando los proyectos de diseño y construcción de obras civiles en la actualidad, es sin lugar a dudas sorprendente, debido a varios factores, entre los cuales, se podría mencionar la competencia entre las empresas constructoras, el creciente número de profesionales, y tal vez, la razón mas importante de todas, es que hoy existen los medios que proporcionan esa rapidez, se hace referencia a la tecnología de hoy. El sistema de posición geográfico global. La estación total, la informática, el Internet, etc. Y la manera como todos estos medios se están integrando para formar un nuevo sistema. Un trabajo importante a mencionar como antecedente se encuentra en la tesis de grado laureada " Graficación del Comportamiento Estructural GRACE" realizada en 1994 por Michel Bolaños Guerrero hoy docente de la Universidad De Nariño, la cual es un ejemplar de análisis de estructuras asistido por computador que usa el lenguaje de programación Turbo Pascal 7.0, que es un lenguaje de programación estructurada, este trabajo de tesis desarrolla un método de análisis en el cual a partir de unos datos de entrada como cargas externas y geometría realiza los cálculos de reacciones en los elementos del marco analizado, como también proporciona los gráficos del comportamiento estructural, como cortantes, momentos y deflexiones, este trabajo es un aporte y un ejemplo valioso de software aplicada a la ingeniería que abre un campo más de la investigación, que por cierto debe fomentarse porque este tipo de trabajo, hoy se constituye en parte fundamental del desarrollo de la universidad, de la región y porque no del país. Luego en 1998 se presenta la tesis de grado también laureada "Diseño de Cimentaciones Profundas por medio de pilotes asistido por computador" de los ingenieros Iván Sánchez Ortiz y Jhon Byron Guevara Solarte, la cual se enfoca como su nombre lo indica al diseño de las cimentaciones profundas por medio de

pilotes en el cual se implementa la herramienta informática para automatizar los cálculos y obtener los gráficos de diseño de dichas cimentaciones.

Entre los productos extranjeros y más representativos tenemos el software de ingeniería **STAAD**, que es el resultado de más de veinte años de experiencia en la ingeniería de programas estructurales; por ello y debido a sus altos estándares de calidad se ha convertido en el programa número uno alrededor del mundo en el diseño y análisis de estructuras. Incluye Generación de Modelos, Diseño y Análisis Avanzado de Elementos Finitos, análisis en 2D y 3D basado en el método de las matrices. Vigas, cerchas, vigas adelgazadas, conchas/placas, generación de carga por vientos según la ASCE, en cuanto a diseño de concreto se basa en ACI 318 y en zapatas por ACI. **ETABS**: programa de Análisis Tridimensional Extendido y diseño de Edificaciones, ideal para el análisis y diseño de edificios y naves industriales, Al igual que el SAP2000, puede realizar análisis de estructuras complejas, pero tiene muchísimas opciones extras que simplifican el diseño de edificaciones, como por ejemplo: Cálculo automático de coordenadas de centros de masas (X_m , Y_m), cálculo automático de coordenadas de centros de rigideces (X_t , Y_t), cálculo automático de fuerzas sísmicas, sus excentricidades y aplicación en el centro de masas, cálculo automático de masas del edificio a partir de los casos de carga elegidos.

5.2. MARCO TEÓRICO

Se requiere hacer referencia a la teoría de la resistencia del concreto reforzado y algunos conceptos sobre el lenguaje de programación que se utiliza en el proyecto.

En cuanto al hormigón, se hace referencia a los conceptos tradicionales y métodos de diseño, como la flexión ya sea en un eje o biaxial, los esfuerzos cortantes, de torsión, y axial, los cuales en conjunto sirven para el análisis de un elemento de una manera general. Utilizando la teoría de Bernoulli (sin deformación) y no de

Timoshenko (incluye deformación), lo cual es mas simple de analizar y tiene los resultados muy acertados para el tipo de elementos que van a analizar. Esta teoría parte los postulados de Robert Hooke quien expresó la célebre frase “como sea la tensión así será la fuerza” y que se transformó en la Ley de Hooke, ley que expresa la relación directa y proporcional entre las tensiones y deformaciones para materiales elásticos. Sumado esta observación al hecho observado por Bernoulli, que durante la flexión una sección vertical gira con respecto a otra suficientemente cercana permaneciendo en un plano (es decir la curvatura o rotación unitaria es única), posibilitó a Navier desarrollar, unos 150 años después, los fundamentos de la teoría para flexión.

En general, son cuatro las suposiciones básicas que se utilizan cuando se tratan de obtener las características de resistencia y deformación por flexión en hormigón armado:

- (i) Secciones planas antes de la flexión permanecen planas después de ella.
- (ii) Se supone conocida la curva tensión-deformación del acero.
- (iii) La resistencia del hormigón a tracción puede despreciarse.
- (iv) Se supone conocida la curva tensión-deformación del hormigón en compresión.

La primera suposición, implica una extensión de la teoría de Bernoulli a secciones de hormigón armado para toda la respuesta, incluso cerca de la falla completa. Significa que las deformaciones longitudinales del hormigón y del acero en cualquier punto de una sección transversal son proporcionales a su distancia al eje neutro. Existe ya una gran evidencia experimental de que esta suposición es válida para todos los estados de carga en secciones de hormigón armado hasta la falla por flexión, siempre y cuando exista buena adherencia entre el hormigón y el acero. Por cierto entonces esto es bastante exacto en la zona de compresión del hormigón. La aparición de fisuras en la zona de tracción indica que algún deslizamiento ha ocurrido entre las barras de acero y el hormigón que las rodea,

por lo cual la suposición enunciada no es de estricta aplicación en la vecindad de una fisura. Sin embargo, si la deformación del hormigón se mide en una longitud que abarque varias fisuras, se encuentra que el principio de Bernoulli es aplicable a la deformación de tracción promedio.

La segunda suposición significa que la relación tensión-deformación del acero está bien definida. En general, ésta se idealiza mediante una relación bi-lineal de forma tal que es perfectamente lineal y elástico hasta la fluencia y perfectamente plástico a partir de ella. En otras palabras, el incremento de tensión por endurecimiento de post-fluencia es despreciado. Esto es debido a que no sería razonable confiar en un incremento de la resistencia del acero en la fase plástica, sobre todo si la ley constitutiva no es conocida. Por ello los autores coinciden en que si bien la suposición de rigidez post-elástica nula para el acero hasta su rotura no es necesaria si la curva esfuerzo deformación es conocida, a los efectos de evaluar la resistencia a flexión es conservativa y conveniente. Sin embargo, cuando es posible que ocurra un incremento en las tensiones por endurecimiento y esto pueda conducir a una situación desfavorable, por ejemplo falla frágil por corte o por adherencia, el diseñador puede y debería tomar en cuenta el posible incremento de resistencia. Esta es una de las causas que se consideran en la sobre-resistencia.

La tercera suposición no merece prácticamente discusión: la tracción que exista por debajo del eje neutro es pequeña por un lado, y por otro su resultante posee un brazo elástico muy pequeño, por lo que de existir alguna contribución en la resistencia a flexión, no se comete error apreciable al despreciarse.

La cuarta de las suposiciones es necesaria para poder establecer el comportamiento real de la sección ante diferentes niveles de carga. Debido a que las tensiones son proporcionales a la distancia al eje neutro, y suponiendo una relación tensión-deformación para el hormigón, se evidencia como va cambiando

la forma del bloque de tensiones comprimido de hormigón a medida que el momento flector actuante se incrementa. La sección alcanza su resistencia a flexión máxima cuando la fuerza total de compresión en el hormigón multiplicada por el brazo elástico es un valor máximo. Las propiedades del bloque de tensiones de compresión del hormigón en la sección de máximo momento pueden quedar definidas por los parámetros.

En cuanto al método de diseño que se utilizará, se puede aclarar que se adoptará tanto, el de la resistencia última, por el método de Whitney con el concepto de bloque de esfuerzos rectangular para flexión, o distribución rectangular equivalente, que ha venido a ser el más utilizado en los últimos años⁵, como también el método elástico⁶ (esfuerzos de trabajo o método alternativo).

5.2.1 Flexión. - La flexión real de un elemento de concreto reforzado diseñado por resistencia última en la sección de compresión tiene una distribución no uniforme, no obstante lo anterior, los especialistas en la materia han desarrollado métodos equivalentes tales como el método de la distribución rectangular equivalente de esfuerzos³ que ha dado resultados satisfactorios.

La flexión biaxial también se puede presentar en algunos elementos estructurales, como vigas, aunque es más común en columnas. Este tipo de esfuerzos también se considerarán en este trabajo, dado que se pueden analizar modificando un poco las fórmulas corrientes de flexión⁷ para concreto reforzado debido a que el plano neutro de la sección esta rotado con respecto a las caras de un elemento de sección transversal rectangular, aunque se aclara que este tipo de análisis se hace mediante cálculos iterativos, hasta que se llega a un valor satisfactorio, de ahí la ventaja del uso de computador. Al analizar elementos sometidos a flexión en un eje, esto es, elementos con carga sin excentricidad, se hará uso de las

⁵ R. Park & T. Paulay. Estructuras de concreto reforzado. México: LIMUSA. 1991. p. 54

⁶ McCormac, Jack C. Diseño de concreto reforzado Op. Cit. p. 39.

⁷ R. Park & T. Paulay. Estructuras de concreto reforzado. Op. Cit. p. 111-114, 160-162; &. McCormac Jack C. Diseño de concreto reforzado Op. Cit. p. 336-338.

ecuaciones comunes de diseño⁸, como por ejemplo para vigas simplemente reforzadas y secciones doblemente reforzadas.

Otro aspecto importante en la flexión es la geometría de la sección transversal. Además de rectangulares también existen secciones en T, en L, en U y en I, además de trapezoidales y circulares, de manera que para este trabajo se tomaran como objetivo las formas mas utilizadas en nuestro medio como las secciones rectangulares, en T, y en I, podría otro egresado desarrollar el complemento para abarcar las otras formas geométricas.

El objetivo que se quiere lograr en cuanto a la flexión se refiere, es diseñar un elemento resistente a la carga impuesta, esto es, varias alternativas de refuerzo y dimensiones de la sección.

Para el caso de la evaluación de resistencia, es decir, para cuando se necesite saber a que nivel de esfuerzo esta sometido un elemento con una geometría y unas dimensiones de sección determinadas, se tendrán en cuenta tanto, la teoría de la resistencia última como, la Teoría Elástica o de Esfuerzos de Trabajo, dado que un elemento puede estar, en un estado de esfuerzos plástico o elástico.

A partir de unos datos de momentos flectores, cargas axiales y cortantes o cargas torsionales, se obtendrá una sección y su refuerzo, así mismo, partiendo de la sección y el refuerzo se calcularán las cargas de flexión esfuerzo axial, cortante y torsión que puede resistir el elemento.

Un aspecto importante de este trabajo será el de ser didáctico, por lo tanto, el software desarrollado tratará de ceñirse a este aspecto presentando comentarios⁹ acerca del porque se toma tal decisión, en cuadros de mensajes emergentes, pero sin saturar a los usuarios del software.

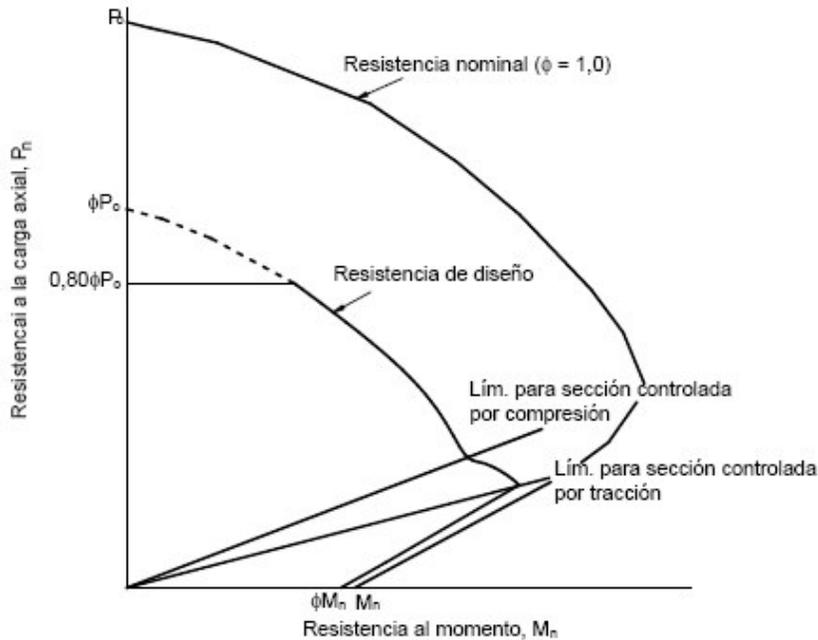
⁸ Gaylord, Edwin H & Gaylord Charles N. Estructuras de concreto (Hormigón) Manual practico. México: editorial McGraw-Hill, Marzo de1993. secs 1-5 a 1-26 (fórmulas y conceptos para diseño por flexión)

⁹ Perry, Greg. Aprendiendo visual Basic en 21 días, México: Ed. Prentice Hall, 1999. p. 69

5.2.2 Flexión y carga Axial. - El diseño o investigación de un elemento comprimido corto se basa fundamentalmente en la resistencia de su sección transversal. La resistencia de una sección transversal solicitada a una combinación de flexión y carga axial debe satisfacer tanto la condición de equilibrio de fuerzas como la condición de compatibilidad de las deformaciones. Luego la resistencia a la combinación de carga axial y momento (P_n , M_n) se multiplica por el factor de reducción de la resistencia ϕ que corresponda para determinar la resistencia de diseño (ϕP_n , ϕM_n) de la sección. La resistencia de diseño debe ser mayor o igual que la resistencia requerida: (ϕP_n , ϕM_n) \geq (P_u , M_u). Todos los elementos solicitados a una combinación de flexión y carga axial se deben diseñar para satisfacer este requisito básico.

Se puede generar un "diagrama de interacción de las resistencias" en donde se gráfica la resistencia a la carga axial de diseño ϕP_n en función de la correspondiente resistencia al momento de diseño ϕM_n ; este diagrama define la resistencia "utilizable" de una sección para diferentes excentricidades de la carga. En la **Figura 1**. se ilustra un típico diagrama de interacción de las resistencias a la carga axial y al momento de diseño, que muestra los diferentes segmentos de la curva de resistencia que se permiten para el diseño. El segmento "plano" de la curva de resistencia de diseño define la resistencia a la carga axial de diseño limitante P_n (max), a medida que disminuye la resistencia a la carga axial de diseño ϕP_n , se produce una transición entre el límite correspondiente a secciones controladas por compresión y el límite correspondiente a secciones controladas por tracción.

Figura 1 Diagrama de interacción de las resistencias



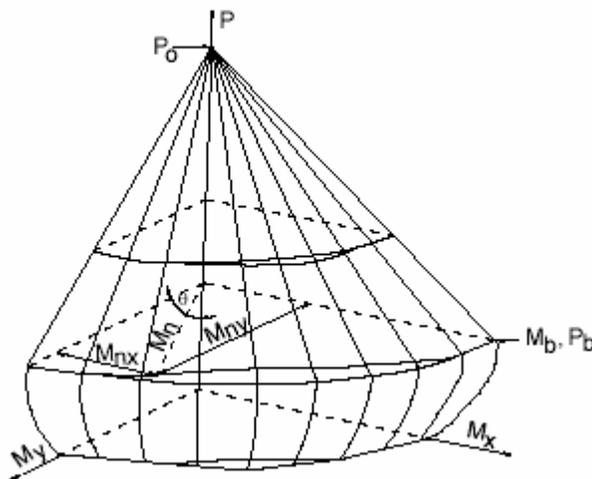
Design Criteria for Reinforced Columns under Axial Load and Biaxial Bending

5.2.2.1 Carga Biaxial.- Una columna está solicitada a flexión biaxial cuando la carga provoca flexión simultánea respecto de ambos ejes principales. El caso más habitual de este tipo de carga ocurre en las columnas de esquina. En el diseño para flexión biaxial y carga axial establece que "las columnas de esquina y otras que estén expuestas a momentos conocidos respecto de ambos ejes que ocurren en forma simultánea se deben diseñar para flexión biaxial y carga axial." Se recomiendan dos métodos para el diseño combinado a flexión biaxial y carga axial: el Método de las Cargas Recíprocas de Bresler y el Método del Contorno de las Cargas (PCA).

5.2.2.2 Resistencia con interacción biaxial.- Un diagrama de interacción uniaxial define la resistencia a la combinación de carga y momento en un único plano de una sección solicitada por una carga axial P y un momento uniaxial M . La

resistencia a la flexión biaxial de una columna cargada axialmente se puede representar esquemáticamente como una superficie formada por una serie de curvas de interacción uniaxial trazadas en forma radial a partir del eje P (ver **Figura 2**) . Los datos para estas curvas intermedias se obtienen variando el ángulo del eje neutro (para configuraciones de deformación específica supuestas) con respecto a los ejes principales. La dificultad asociada con la determinación de la resistencia de las columnas armadas solicitadas a combinaciones de carga axial y flexión biaxial es fundamentalmente de naturaleza aritmética. La resistencia a la flexión de una columna cargada axialmente respecto de un eje oblicuo particular se determina mediante iteraciones que involucran cálculos sencillos pero laboriosos. Estos cálculos se vuelven aún más laboriosos si se desea optimizar la armadura o la sección transversal.

Figura 2 Superficie de interacción biaxial



Design Criteria for Reinforced Columns under Axial Load and Biaxial Bending

5.2.2.3 Superficies de falla.- La resistencia nominal de una sección solicitada a flexión biaxial y compresión es una función de tres variables, P_n , M_{nx} y M_{ny} , las cuales se pueden expresar en términos de una carga axial actuando con excentricidades $e_x = M_{ny}/P_n$ y $e_y = M_{nx}/P_n$. Una superficie de falla se puede describir como una superficie generada graficando la carga de falla P_n en función de sus excentricidades e_x y e_y , o de sus momentos flectores asociados M_{ny} y M_{nx} . Se han definido tres tipos de superficies de falla. La superficie básica S1 se define mediante una función que depende de las variables P_n , e_x y e_y . A partir de S1 se puede derivar una superficie recíproca; para generar la superficie S2 ($1/P_n$, e_x , e_y) se utiliza la recíproca o inversa de la carga axial nominal P_n como se ilustra en la. El tercer tipo de superficie de falla, se obtiene relacionando la carga axial nominal P_n con los momentos M_{nx} y M_{ny} para producir la superficie S3 (P_n , M_{nx} , M_{ny}). La superficie de falla S3 es la extensión tridimensional del diagrama de interacción uniaxial

5.2.2.4 Método de las cargas recíprocas de Bresler.- Este método aproxima la ordenada $1/P_n$ en la superficie S2 ($1/P_n$, e_x , e_y) mediante una ordenada correspondiente $1/P'_n$ en el plano S'2 ($1/P'_n$, e_x , e_y), el cual se define por los puntos característicos A, B y C como se indica en la Figura 7-10. Para cualquier sección transversal en particular, el valor P_o (correspondiente al punto C) es la resistencia a la carga bajo compresión axial pura; P_{ox} (correspondiente al punto B) y P_{oy} (correspondiente al punto A) son las resistencias a la carga bajo excentricidades uniaxiales e_y y e_x , respectivamente. Cada punto de la superficie verdadera se aproxima mediante un plano diferente; por lo tanto, la totalidad de la superficie se aproxima usando un número infinito de planos.

La expresión general para la resistencia a la carga axial p para cualquier valor de e_x y e_y es la siguiente:

$$P_n \leq \frac{1}{\frac{1}{P_{ox}} + \frac{1}{P_{oy}} - \frac{1}{P_o}}$$

P_{ox} = Máxima resistencia a la carga uniaxial de la columna con un momento de

$$M_{nx} = P_n \cdot e_y$$

P_{oy} = Máxima resistencia a la carga uniaxial de la columna con un momento de

$$M_{ny} = P_n \cdot e_x$$

P_o = Máxima resistencia a la carga axial sin momentos aplicados.

Esta ecuación tiene una forma sencilla y las variables se pueden determinar fácilmente. Las resistencias a la carga axial P_o , P_{ox} y P_{oy} se determinan usando cualquiera de los métodos presentados anteriormente para flexión uniaxial con carga axial. Resultados experimentales han demostrado que esta ecuación será razonablemente exacta si la flexión no gobierna el diseño. La ecuación sólo se debe usar si: **$P_n \geq 0,1 f'c A_g$**

5.2.2.5 Método del contorno de las cargas de la PCA.- El enfoque de la PCA se describe como una extensión o ampliación del Método del Contorno de las Cargas de Bresler. Se eligió la ecuación de interacción de Bresler como el método más viable en términos de exactitud, practicidad y potencial de simplificación.

Cuando el contorno de carga, se hace adimensional toma la forma indicada en la **Figura 3.** y el punto B tendrá las coordenadas x e y iguales a β . Si se grafica la resistencia a la flexión en términos de los parámetros adimensionales P_n/P_o , M_{nx}/M_{nox} , M_{ny}/M_{noy} (estos dos últimos llamados momentos relativos), la superficie de falla generada S_4 (P_n/P_o , M_{nx}/M_{nox} , M_{ny}/M_{noy}) adopta la forma típica ilustrada en la **Figura 4.** La ventaja de expresar el comportamiento en términos relativos es que los contornos de la superficie (**Figura 3.**), es decir, la intersección formada por los planos de P_n/P_o constante y la superficie para los propósitos del diseño se pueden considerar simétricos respecto del plano vertical que bisecta los dos planos coordenados. Aún para las secciones que son rectangulares o en las cuales la armadura no está uniformemente distribuida, esta aproximación permite obtener valores con precisión suficiente para el diseño.

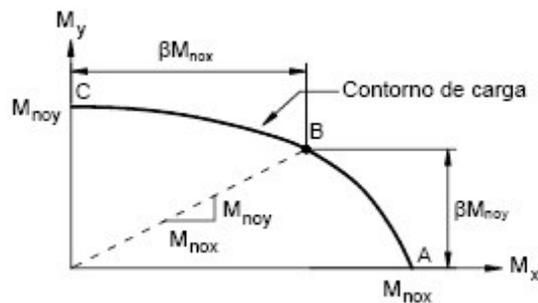
La relación entre α de la siguiente ecuación y β se obtiene reemplazando las coordenadas del punto B de la **Figura 3** en la ecuación 1, y resolviendo para α en función de β así se obtiene el valor de α .

Ecuación 1.

$$\left(\frac{M_{nx}}{M_{nox}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{ny}}{M_{noy}}\right)^\alpha = 1$$

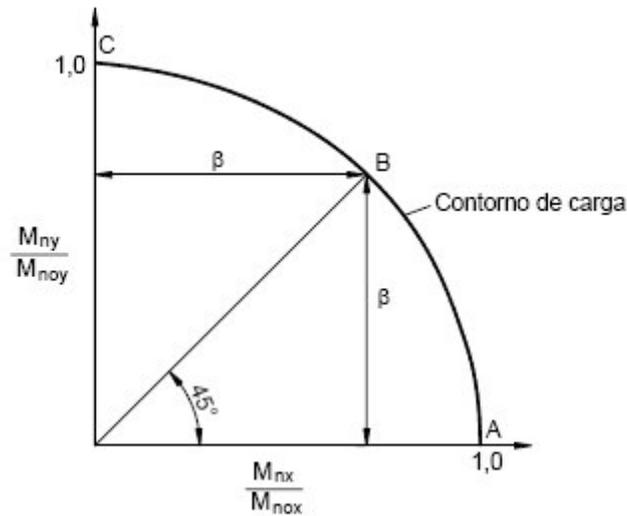
$\alpha = \frac{\log 0.5}{\log \beta}$ donde β coeficiente menor que la unidad, que determina la relación de resistencia la momento biaxial. (**Figura 5**)

Figura 3 Contorno de carga adimensional



Design Criteria for Reinforced Columns under Axial Load and Biaxial Bending

Figura 4 Contorno de cargas adimensionales para Pn constantes.



Design Criteria for Reinforced Columns under Axial Load and Biaxial Bending

En consecuencia la ecuación anterior se puede escribir como:

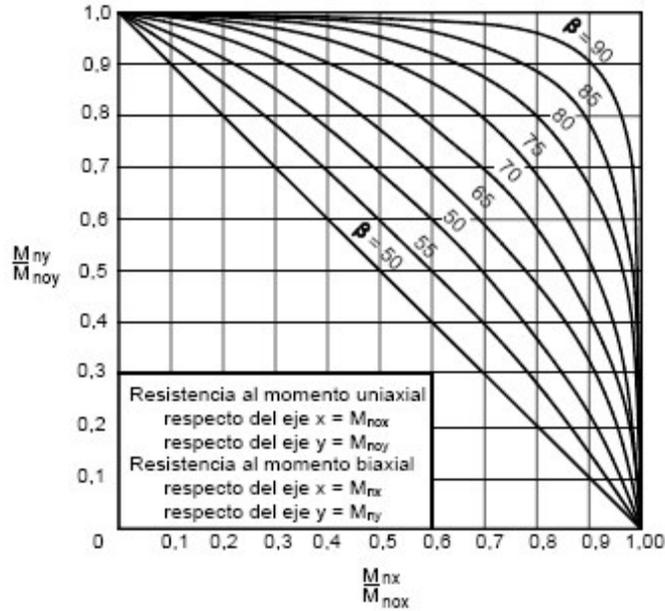
$$\left(\frac{Mnx}{Mnox} \right)^{\frac{\log 0.5}{\log \beta}} + \left(\frac{Mny}{Mnoy} \right)^{\frac{\log 0.5}{\log \beta}} = 1$$

Para simplificar el diseño, en la **Figura 5.** se grafican las curvas generadas en donde se muestran nueve valores de β . Los valores de β son calculados en usando un bloque de tensiones rectangular y los principios básicos de equilibrio, se determina que los parámetros f_y , b/h y f'_c no afectaban demasiado los valores de β .

La máxima diferencia en β fue de alrededor de 5% para valores de P_n/P_o comprendidos entre 0,1 y 0,9. La mayoría de los valores de β , especialmente en el rango de P_n/P_o más utilizado, no presentaron diferencias mayores al 3%. En vista de estas pequeñas diferencias, sólo se desarrollaron envolventes de los valores de β más bajos para dos valores de f_y y diferentes disposiciones de las barras. Entonces β depende fundamentalmente de P_n/P_o y en menor medida, aunque

todavía significativamente, de la distribución de las barras, del índice de armadura ω y de la resistencia de la armadura.

Figura 5 Relación de resistencia al momento biaxial.



Design Criteria for Reinforced Columns under Axial Load and Biaxial Bending

5.2.3 Esfuerzo cortante.- Este tipo de esfuerzo se presenta generalmente en un elemento sometido a flexión, por esto se dice que, cuando un miembro está sometido a flexión, también estará sometido a esfuerzo cortante, sin embargo, aunque existe una relación íntima entre flexión y cortante, tanto que se puede expresar matemáticamente, según el criterio de especialistas¹⁰, en experimentos con vigas de concreto reforzado normal, se ha observado que la fuerza cortante no tiene influencia patente en el desarrollo de la resistencia a flexión, esto permite al diseñador manejar por separado cortante y flexión. Lo anterior no se debe tomar en sentido general ya que se debe distinguir claramente en que circunstancia se debe analizar por separado, para ilustrar esto podemos colocar el ejemplo de una viga con carga vertical uniformemente distribuida y simplemente apoyada, donde en la fibra extrema a tensión el esfuerzo cortante a evaluar es en un sentido

¹⁰ R. Park & T. Paulay. Estructuras de concreto reforzado. Op. Cit. p. 311-317.

vertical ya que este no tiene componente horizontal y por lo tanto no suma nada al esfuerzo de tensión horizontal causado por la flexión en dicha fibra, en contraste con esto, las fibras coincidentes con el eje neutro están sometidas a un esfuerzo de corte o cizallamiento horizontal que no influencia a la flexión, ya que este se presenta por el conocido fenómeno de esfuerzo de corte horizontal, pero en las fibras comprendidas entre el eje neutro y la fibra extrema a tracción los esfuerzos se combinan resultando de esta manera los conocidos esfuerzos principales, esta clase de esfuerzo tiene una dirección diagonal con respecto a la fibra neutra, debido a esto se presentan las conocidas grietas de tensión diagonal en las zonas cercanas al eje neutro generalmente a 45° con respecto a la fibra neutra y perpendiculares al esfuerzo principal. La fórmula $q = V / jd$, donde jd es el brazo del momento resistente en una viga es la que predice la intensidad de la tensión diagonal en la zona de tensión agrietada de una viga de concreto reforzado, por conveniencia el ACI¹¹ adoptó como índice de la intensidad de cortante la ecuación simple $v = V / (b_w * d)$ que se ha aceptado como índice para evaluar el esfuerzo cortante en general. Cabe notar que este índice no da un resultado puntual en una sección determinada ni predice de forma exacta el esfuerzo real de corte en dicha sección, es más bien un buen estimador para diseñar un miembro al cortante en una sección donde este índice sea crítico.

Además de lo expuesto anteriormente, se debe aclarar que por requisitos de equilibrio el esfuerzo cortante horizontal siempre será igual en magnitud al esfuerzo cortante vertical o de efecto tijera en un miembro.

No se puede en todos los casos dar por hecho la no influencia del cortante en la capacidad a flexión y por esto, para el trabajo a desarrollar se tendrá en cuenta la posible influencia del cortante sobre el refuerzo a la flexión, haciendo uso de las relaciones matemáticas¹² que se han logrado establecer en este campo.

¹¹ R. Park & T. Ibid., p. 283

¹² Ibid., p. 311-315

El trabajo comprenderá también en el diseño a cortante, el cálculo de los estribos, los cuales tienen como una de las finalidades principales impedir el ensanchamiento de grietas diagonales, utilizando para este análisis las relaciones matemáticas¹³ que se han desarrollado en este campo. Para complementar lo dicho anteriormente se aclara que para este análisis se hará uso de la teoría más completa que se ha encontrado en el proceso de fundamentación y documentación para este trabajo, que se basa en considerar al conjunto refuerzo-concreto como una armadura¹⁴ en la que el concreto desempeña el papel de elemento a compresión, sin aporte de resistencia a tensión.

La tensión diagonal que causa grietas diagonales depende principalmente de la resistencia a la tracción del concreto que se puede tomar según Gaylord & Gaylord¹⁵ como $= 5\sqrt{f'_c}$ o $\approx 10\%$ de la resistencia a la compresión del concreto.

Según Winter & H. Nilson¹⁶ la tensión cortante o tensiones de tracción diagonal, cuando las tensiones de flexión son despreciablemente pequeñas tienen una inclinación de 45° y son numéricamente iguales a las tensiones cortantes con un máximo en la fibra neutra, por consiguiente, las grietas diagonales se forman principalmente en el eje neutro o cerca de él, punto a partir del que se propagan, en esta situación puede esperarse que se forme una grieta diagonal de tracción cuando la tensión de tracción diagonal (un poco mayor sino igual a $v = V / (b * d)$) en la proximidad de la fibra neutra se haga igual a la resistencia a la tracción del hormigón.

¹³ Ibid., p. 300-306

¹⁴ Ibid., p. 3004. Modelo de armadura análoga para deducir las ecuaciones que rigen el concepto actual de cortante.

¹⁵ Gaylord, Edwin H & Gaylord Charles N. Estructuras de concreto (Hormigón) Manual práctico. . Op. Cit. p. sec 1-1

¹⁶ Winter, Jorge. & Nilson, Arthur H. Proyecto de estructuras de Hormigón. Bogotá: Ed. Reverté, 1977. p. 75

5.2.4 Torsión.- Un miembro debe ser diseñado al igual que por flexión, cortante y esfuerzo axial, para resistir carga torsional, para cumplir con este objetivo, lo más práctico, es proveer un refuerzo adecuado que cumpla la función de aportar resistencia tanto para resistir esfuerzo cortante como para resistir esfuerzo de torsión.

El inconveniente más significativo que presenta el concreto reforzado siempre ha sido la heterogeneidad de propiedades de los materiales, esto también, por supuesto es concerniente en los análisis de resistencia a la torsión del concreto y por lo tanto aun no hay modelos que se ajusten totalmente al reto de calcular la resistencia real de este material. Para contrarrestar esta dificultad se han desarrollado teorías aproximadas que han brindado resultados aceptables, para citar algunas de ellas se puede mencionar la teoría elástica¹⁷ que se acomoda mejor a otros materiales como el acero, o la teoría de una armadura espacial¹⁸ que se acomoda al concreto reforzado.

Los esfuerzos torsionales inducen tensiones parecidas a las tensiones diagonales que son provocadas por cortante con algunas diferencias, como por ejemplo, los esfuerzos de torsión se presentan en las cuatro caras de una viga rectangular, además, en una cara las tensiones de torsión se suman con las tensiones cortantes mientras que simultáneamente en la otra cara se restan de las tensiones debidas a cortante.

Para el trabajo a desarrollar, en análisis por torsión, la teoría mas adecuada parece ser la que se basa en el modelo de la armadura espacial la cual se ha desarrollado especialmente para esfuerzos de torsión plástica, esta teoría esta solidamente ligada a estribos cerrados y refuerzo longitudinal adicional, por ejemplo para una viga rectangular uno de los requisitos mínimos de resistencia a torsión es que para el refuerzo longitudinal adicional debe colocarse al menos una

¹⁷ R. Park & T. Paulay. Estructuras de concreto reforzado. Op. Cit. p. 359-362.

¹⁸ R. Park & T. Ibid., p. 373-371

barra longitudinal en cada esquina de las secciones del elemento. El análisis es parecido al de la armadura análoga para cortante. En la armadura espacial el concreto desempeña el papel de elemento a compresión con la característica adicional que este elemento sufre una flexión parcial debido al mismo mecanismo de torsión. Se presentará también hipotéticamente, la transmisión de fuerzas axiales a través de los elementos de la armadura de refuerzo. En esta teoría se asume que para obtener un elemento resistente a la torsión, necesariamente se tendrá que proveer al elemento de una armadura de refuerzo, solo de esta manera se llegará a un diseño confiable de un miembro sometido a esfuerzos torsionales considerables. En la teoría en mención las grietas que se presentan también son diagonales y su orientación¹⁹ esta cercana a los 45° grados respecto del eje neutro, esta suposición permite deducir las ecuaciones de análisis numérico que permiten llegar a determinar el área de refuerzo adecuada de los estribos y del refuerzo longitudinal adicional.

Con el ánimo de aclarar la metodología de diseño, se puede decir lo siguiente: se pretende lograr que el refuerzo del elemento a diseñar actúe adecuadamente para flexión cortante esfuerzo axial y esfuerzo torsional, se habla precisamente de un diseño general e integrado el cual debe ser el resultado de tener en cuenta estos diferentes tipos de esfuerzo y así obtendríamos un software que no parte de conceptos aislados sino de la interacción simultánea de esfuerzos, de esta manera se puede abordar un diseño para un elemento sometido a los tipos de esfuerzo mas conocidos actuando simultáneamente, y en consecuencia de esto abordar casos particulares de diseño, como por ejemplo una viga rectangular o en T, en la cual no existe esfuerzo torsional considerable o tal vez no presenta esfuerzos axiales como el caso de una columna. Esto se puede hacer ya que el resultado será la adición aritmética de conceptos en la cual si uno de estos no es importante, se podría no tener en cuenta, por consiguiente siempre se obtendrá un resultado acertado aunque diferente.

¹⁹ Oreste, Moretto. Curso de hormigón armado. Buenos Aires Argentina: Ed. EL ATENEO, 1967. p. 405

6. METODOLOGÍA

La metodología a seguir para el desarrollo del proyecto se basa en:

- Realizar un estudio de los conceptos teóricos del diseño del concreto reforzado.
- Realizar un estudio sobre el lenguaje de programación Visual Basic 6.0 a utilizarse en el proyecto.
- Buscar la asesoría del personal calificado en los conceptos de diseño de concreto reforzado y en el lenguaje de programación a utilizar.
- Adoptar conceptos de la ingeniería de software como herramienta adecuada para desarrollar el proyecto.
- Hacer una planeación para el desarrollo del software que comprenda los siguientes pasos:
- Elaboración de los algoritmos (mapas conceptuales) para los diferentes procesos de cálculo.
- Elaboración de bocetos gráficos para la presentación de las diferentes ventanas en el software.
- Identificación de las posibles variables a intervenir en los procesos de cálculo, modo de proceso y almacenamiento en el software.

- Construcción del proyecto de desarrollo de software.
- Prueba y evaluación del software, lo cual permitirá medir en forma cualitativa la eficiencia del software y a la vez su presentación.
- Realizar el ajuste necesario y reevaluar el software

7. MANUAL DE PROCEDIMIENTO

Los cálculos realizados automáticamente para el desarrollo de esta herramienta incorporan, en primera instancia el valor del peralte efectivo (d), que para cualquier sección es igual la diferencia de la altura total de la sección menos la suma del recubrimiento y el diámetro del estribo de confinamiento como se muestra en la siguiente ecuación: $d = h - (r + de)$

Para el análisis además de la consideración anteriormente descritas se incorpora una herramienta (editor de áreas), que le permite al usuario distribuir una área de acero determinado, utilizando una serie de barras comerciales que facilitan esta labor y que a la vez del permiten un acercamiento mas directo con este tipo de material.

Aquí la determinación del peralte efectivo queda determinada mediante la siguiente fórmula.

$$d = h - z \quad \text{Donde:} \quad Nf = \text{número de filas ingresadas en el editor}$$
$$z = \frac{\sum_{i=0}^{Nf} Ai * di}{\sum_{i=0}^{Nf} Ai}$$

Ai = área de acero en la fila i
 di = distancia medida al centroide del acero de la fila i

Este valor se presenta en forma inmediata cada vez que se seleccione un nuevo tipo de varilla o fila.

Por otro lado el software también calcula otro valor importante en el diseño y en el análisis, el bien conocido ancho mínimo que debe presentar la sección para la

distribución de acero. Este cálculo se realiza automáticamente cada vez que se hace una nueva distribución.

Durante el proceso de diseño este valor podrá ser visualizado, junto a la altura efectiva.

El cálculo se elabora mediante la **Ecuación 2** que tiene en cuenta parámetros como recubrimiento del refuerzo (r), diámetro del estribo (de), diámetro de la mayor barra (db), el número de barras en la fila (n) y la separación libre entre barra ($S =$ el mayor entre 2.5 cm, 1.33 veces el tamaño máximo del agregado ó diámetro de la mayor barra), cabe aclarar que este valor será el mayor calculado entre el número total de filas ingresadas.

Ecuación 2 Ancho mínimo

$$b \text{ min} = 2r + 2de + (n - 1) * s + n * db$$

En el análisis este valor es solamente informativo, pero en diseño es un valor limitante, que obliga al usuario realizar una nueva distribución del acero.

Finalmente se hace mención al valor del módulo de elasticidad del concreto, el cual depende del tipo de agregados a utilizar en la elaboración del hormigón, es por ello que el software ha sido diseñado para calcular este valor según lo especificado por la norma Colombiana NSR-98 en el apartado **C.8.5.4** y **C.8.5.4.1**, así:

Las unidades para el módulo de elasticidad del concreto (E_c) y de la resistencia del concreto a la compresión ($f'c$) son kgf/cm^2 .

$$E_c = 17500 * \sqrt{f'c} \text{ Para agregado grueso de origen ígneo}$$

$$E_c = 15000 * \sqrt{f'c} \text{ Para agregado grueso de origen metamórfico}$$

$E_c = 11500 * \sqrt{f'c}$ Para agregado grueso de origen sedimentario

$E_c = 12500 * \sqrt{f'c}$ El valor medio para toda la información experimental nacional

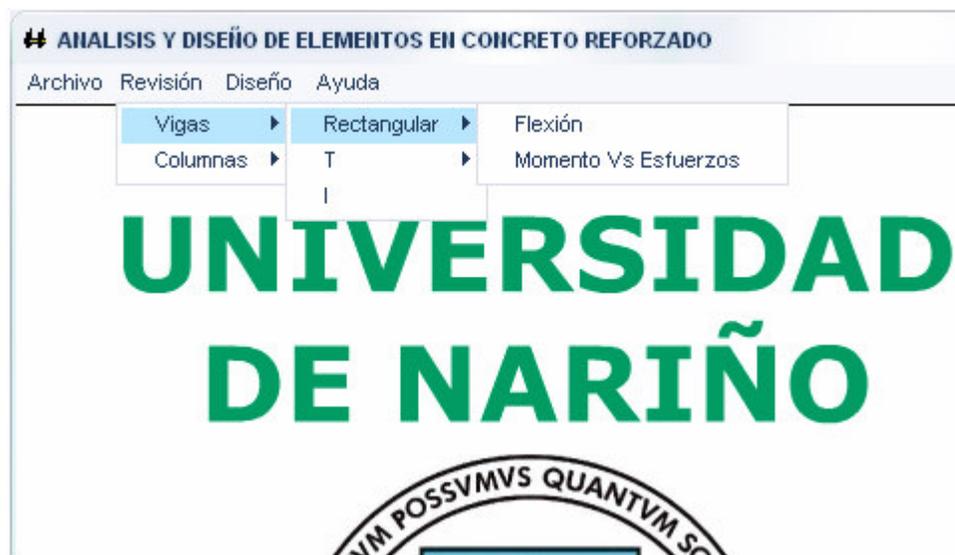
El valor deducido por cualquier de estas fórmulas, según la elección y las necesidades del usuario será empleado conjuntamente con el módulo de elasticidad del acero (2'000.000 kgf/cm²) para el cálculo de relación de módulos, valor empleado en el método de esfuerzos admisibles (ASD), para realizar diseño y análisis de secciones.

Los valores anteriormente mencionados intervienen en todos los procesos de cálculo que son descritos a continuación.

En primera instancia se realiza la descripción del proceso para realizar el análisis a **flexión** de vigas de sección Rectangular, T e I. El Software presenta una ventana similar para las diferentes secciones, es por ello que se presentara a modo ilustrativo el análisis de una viga rectangular.

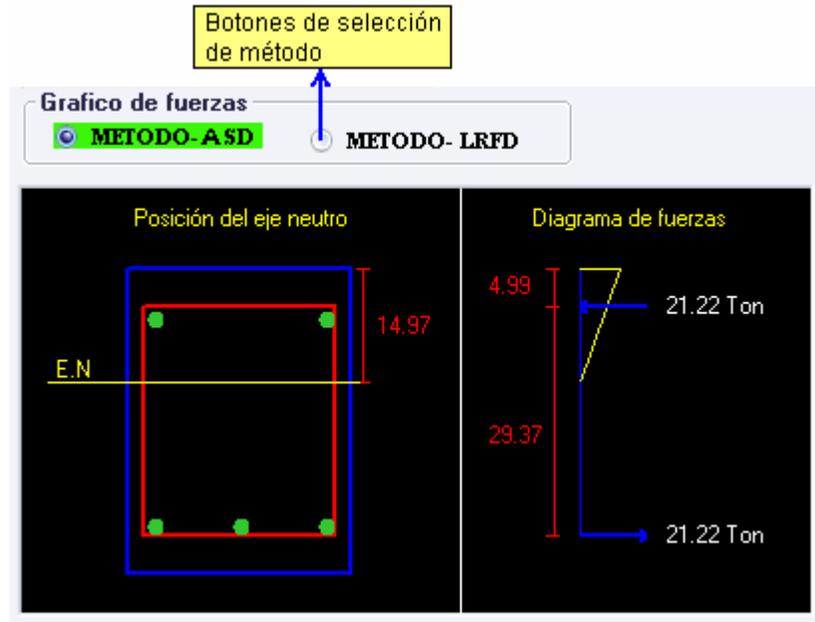
En el menú principal el usuario selecciona la opción análisis y determina el tipo de sección a estudiar (**Figura 6.**). Esta acción despliega la ventana principal de análisis, donde se solicitaran los datos de sección (dimensiones), parámetros de diseño ($f'c$, f_y , etc.) y área de refuerzo longitudinal, los cuales intervienen en los procesos de cálculo y en los resultados de los mismos.

Figura 6 Menú principal.



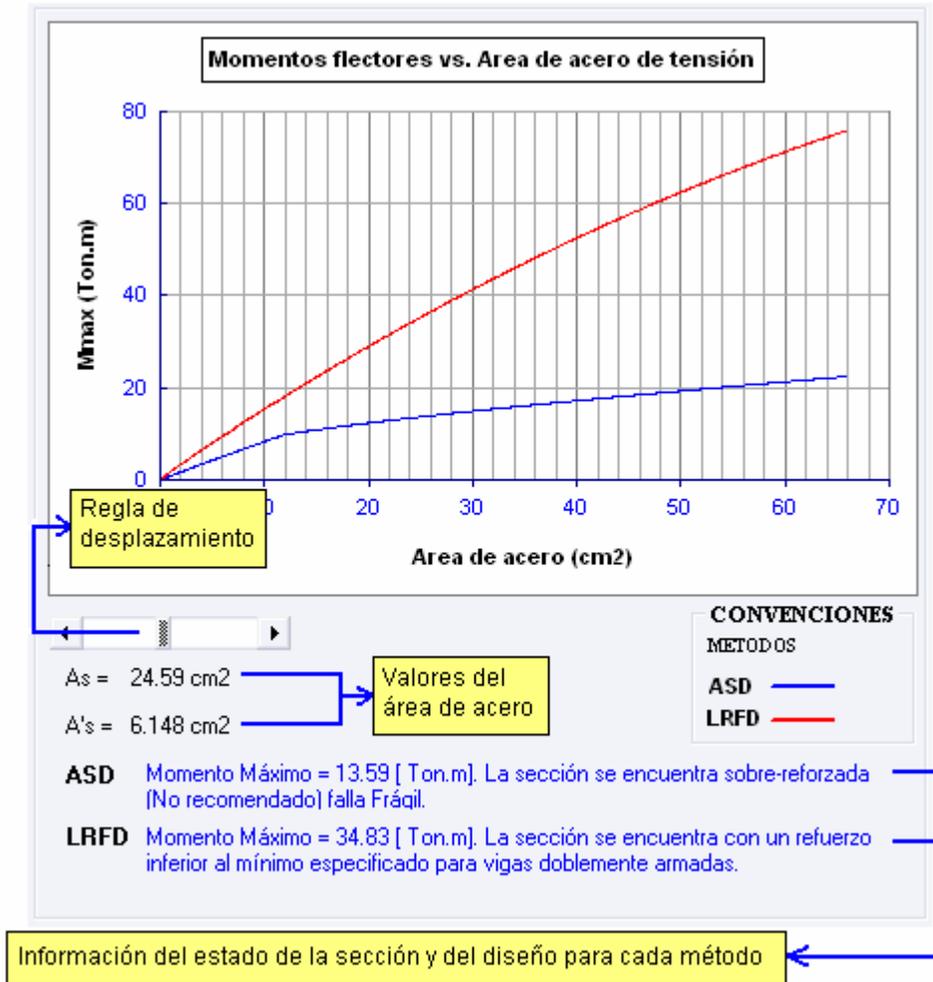
Para el análisis a flexión el proceso a seguir consiste en partir de una sección conocida, con parámetros previamente establecidos y un área de refuerzo determinada se calcula momento resistente de dicha sección. Además el software ofrece resultados gráficos que muestran el comportamiento de la sección para diferentes condiciones de refuerzo. El primer gráfico contiene los datos de la posición del eje neutro y el diagrama de esfuerzos y fuerzas (**Figura 7.**). El usuario en cualquier momento determina el método para el cual desea conocer estos valores, puesto que en el software tanto en análisis como en diseño considera los dos métodos de estudio establecidos, El método de esfuerzos admisibles (ASD) y el de carga última (LRFD).

Figura 7 Posición del eje neutro y diagrama de fuerzas.



Adicionalmente se ofrece al usuario una gráfica que ilustra valores de Momento resistente vs. Área de acero, en donde se muestra el comportamiento de la sección (en el caso de vigas de sección T e I), el tipo de diseño (sub-reforzado, sobre-reforzado) y la variación en el valor del momento resistente, que genera las diferentes cantidades de refuerzo. Esta variación esta determinada por la condición que presenta la sección de la viga, para el caso de secciones rectangulares con doble armadura, se hace necesario realizar una relación porcentual entre el acero a tensión y el de compresión, relación que permite ligar la curva con las condiciones determinadas en primera instancia por los valores de área ingresados. El usuario puede trasladarse por las curvas graficadas empleando la barra de desplazamiento que se encuentra en la parte inferior de la gráfica, que además permite visualizar el estado en el cual se encuentre la sección para el punto en particular que se desee mostrar. (**Figura 8**).

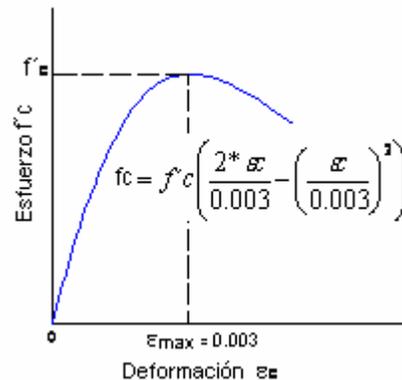
Figura 8 Curva Momento resistente vs. Área de acero.



Otro estudio que se realiza, es la determinación del estado de la sección, este análisis se ejecuta únicamente para vigas de sección rectangular. Para acceder a este tipo de análisis el usuario debe seleccionar en el menú principal (**Figura 6.**), análisis viga rectangular seguido de Momentos vs. Esfuerzos, selección que le permitirá desplegar una ventana similar a la anterior, en donde el usuario deberá ingresar los datos solicitados (dimensiones de sección, parámetros de diseño y refuerzo).

Para la elaboración de los gráficos Momento resistente vs. Deformación en la fibra extrema a compresión y Esfuerzo del concreto vs. Deformación en la fibra extrema a compresión, se adopta la ecuación de la curva idealizada del concreto en compresión uniaxial (**Figura 9.**), que describe una parábola, ecuación debida a Hognested y obtenida de los ensayos de Rush²⁰, la cual indica que el perfil depende de la resistencia del concreto y en la que $f'c$ es el esfuerzo máximo alcanzado en el concreto

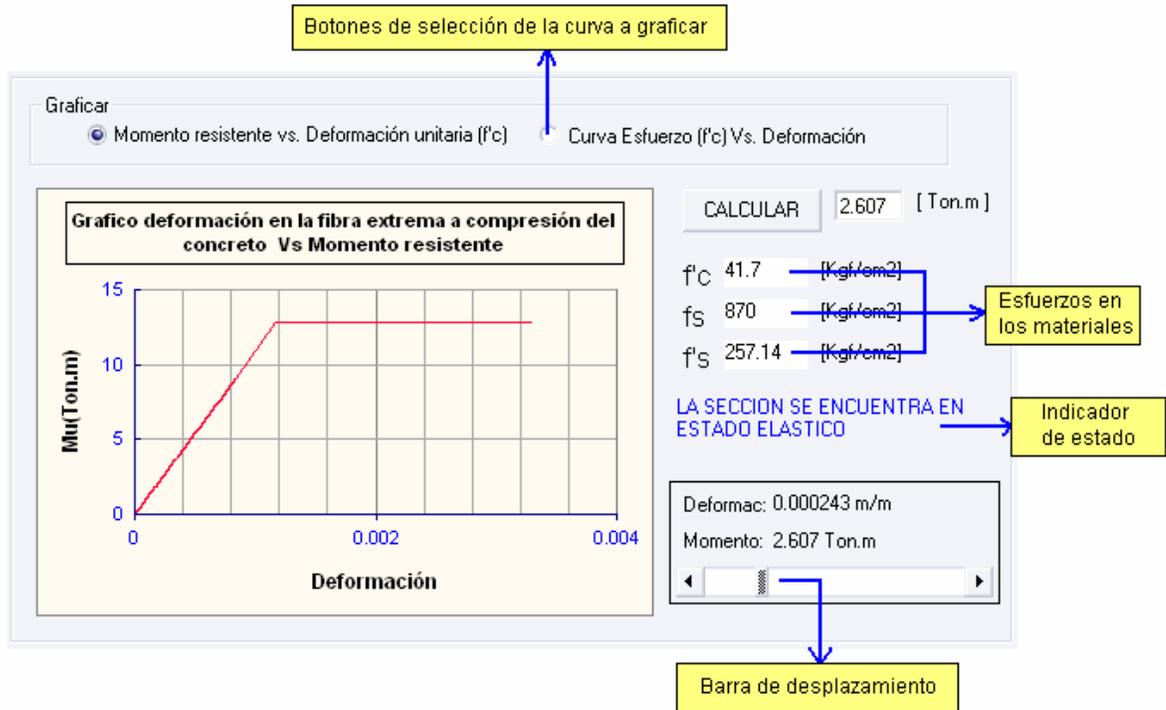
Figura 9 Curva idealizada esfuerzo deformación para el concreto en compresión uniaxial.



Otra condición que se adopta en la elaboración de los gráficos son las diferentes ecuaciones empleadas para los tres estados que presenta el concreto a lo largo de una aplicación de una carga constante y creciente, antes del fisuramiento, estado elástico (0.70 de $f'c$) y la posterior sedencia del concreto. Dentro de este análisis se presenta la variación que se da en los esfuerzos de los materiales que componen la sección (Concreto, acero) a medida que cambia el valor del momento. Para este análisis el usuario cuenta con una información gráfica y con una barra de desplazamiento sobre las curvas, que le permiten apreciar de una manera clara los cambios que se presentan en el comportamiento de la sección (**Figura 10.**)

²⁰ T.Baumann y H. Rush, "Schubersuche mit indirekter krafteileitun," Deutscher Ausschuss fur Stankbeton, Bukketin No 210, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin , 1970, Pags 1-41. Citado por : R. Park & T. Paulay. Estructuras de concreto reforzado. p. 311-317

Figura 10 Análisis de los esfuerzos presentes en los materiales.



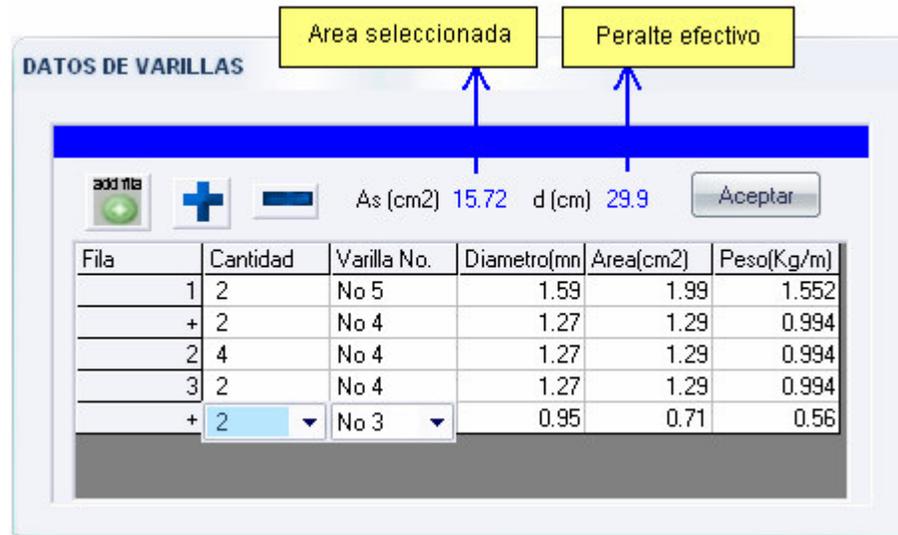
Los anteriores análisis, se realizaron utilizando las fórmulas que normalmente se emplean para el cálculo de hormigón armado, siguiendo el orden mostrado en los diagramas de flujo que se encuentran en anexos (**Anexo 1 y Anexo 2**).

Para los anteriores análisis el usuario parte de secciones y áreas de refuerzo conocidas, en los libros es común encontrarse con áreas establecidas mediante combinaciones de barras, por esto el software cuenta con una herramienta denominada Editor de áreas, en el cual el usuario encontrará un grupo de barras²¹ con la cuales podrá realizar la distribución requerida. Además en el editor se presentan los valores de peralte efectivo (d) y área de acero para cada nueva

²¹ COLOMBIA, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Norma Colombiana de diseño y construcción sismo-resistente: NSR-98. 1 ed. Santafé de Bogotá: 3R Editores;1999-2001. Pág. 180

elección. Así mismo el software le frece la posibilidad de escribir directamente el valor refuerzo, sin hacer uso de esta herramienta (**Figura 11.**)

Figura 11 Editor de áreas.

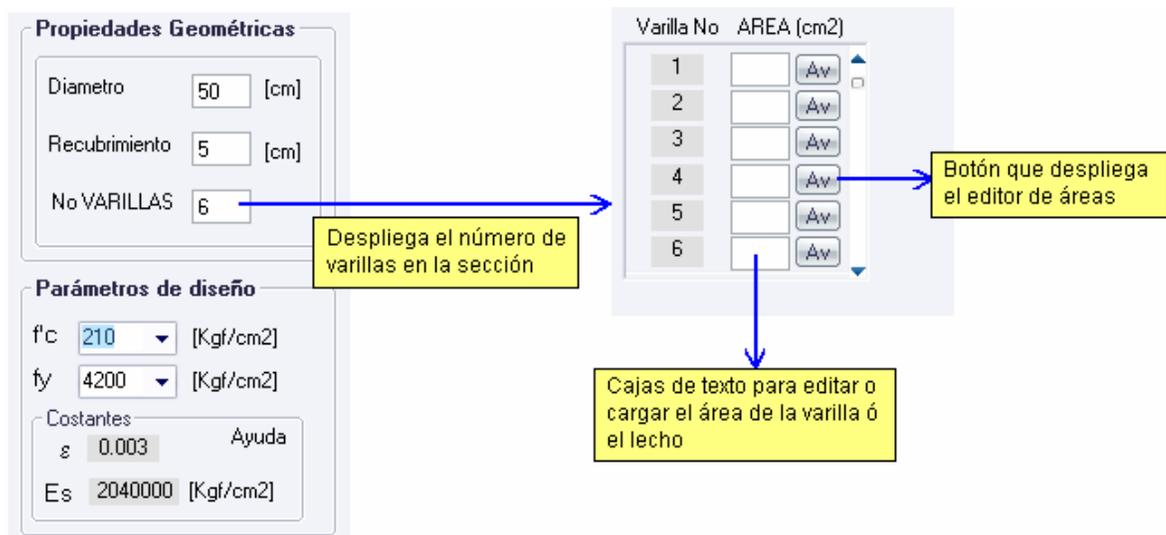


Las columnas son igualmente elementos estructurales construidos en concreto reforzado, motivo por el cual han sido incluidos dentro del software. Para el análisis de columnas el usuario debe seleccionar en el menú principal (**Figura 6.**), análisis seguido de la opción columnas y tipo de sección (Rectangular o circular). Las ventanas para el análisis de columnas tienen una presentación similar para ambas secciones, por eso se explica la interfaz correspondiente a columnas de sección circular.

Para este análisis el usuario debe ingresar los datos solicitados (dimensión de sección, parámetros de diseño y refuerzo). El parámetro que difiere entre las dos secciones es el refuerzo, pues mientras en columnas de sección circular se hace referencia a número de varillas, en las de sección rectangular se hace mención a número de lechos, refiriéndose a la cantidad de filas de refuerzo que presenta la sección, las cuales al tiempo pueden contener mas de un tipo de barra. Para realizar este análisis se utilizaron variables de tipo dinámico, pues la cantidad de

lechos o varillas tiene valores muy versátiles y dependen de las necesidades del usuario (**Figura 12.**). Al igual que en vigas el usuario puede acceder a un editor de áreas para seleccionar la (s) varilla (s) o simplemente ingresar el valor del área de acero, según sea el caso.

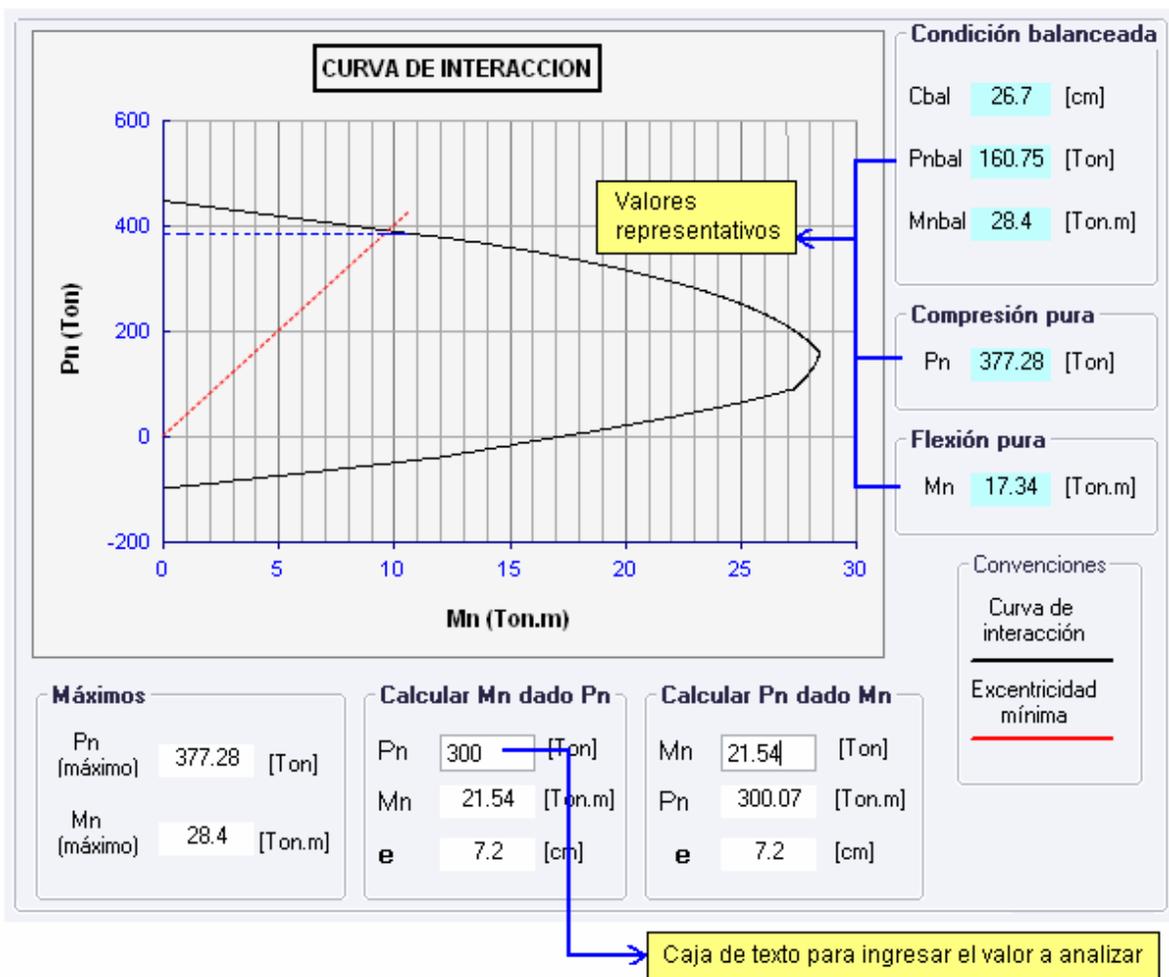
Figura 12 Imagen ilustrativa para la asignación del acero de refuerzo en columnas



Posterior al ingreso de los datos solicitados se puede generar la curva de interacción para el ejemplo, en esta curva se grafican valores de Momento nominal (M_n) vs. Carga axial nominal (P_n). Junto a la gráfica se presentan valores de información para el usuario, puntos claves, la posición del eje neutro, momento nominal ($M_{n_{bal}}$) y carga axial nominal ($P_{n_{bal}}$) para condiciones balanceadas. También se imprimen los valores de compresión y flexión pura y su vez los valores máximos de la gráfica para Momento y carga axial. (**Figura 13.**)

Con la curva ya graficada y los valores conocidos, el usuario puede interactuar con el software ingresando valores que estén dentro de los máximos establecidos para conocer el comportamiento de la sección ante la variación de las cargas axiales (P_n) o de Momentos nominales (M_n). Para esto el usuario debe de ingresar valores en las cajas de texto habilitadas para este fin y el software automáticamente buscara la coordenada que le corresponde a ese punto e imprimirá el valor al igual que la excentricidad.

Figura 13 Curva de interacción para análisis de columnas.



Los procesos de cálculo que realiza el software para ejecutar el análisis de columnas se presentan en el diagrama de flujo en anexos (**Anexo 3**).

La segunda utilidad que presenta el software hace referencia al diseño de vigas (secciones rectangular, T e I) y columnas (sección circular y rectangular). En primera instancia se hace mención al diseño de vigas.

Para realizar diseño, el usuario en el menú principal (**Figura 6.**), debe de seleccionar la opción diseño, vigas y finalmente sección. Esta acción despliega el menú de selección, donde se presentan dos opciones adicionales, la primera hace referencia al diseño de refuerzo únicamente, y la segunda al diseño completo de sección y refuerzo. (**Figura 14.**) Para ambos casos el usuario debe seleccionar el tipo de solicitación a diseñar ya sea flexión, cortante o torsión, en la primera opción se puede realizar diseño para los tres tipos de esfuerzos en conjunto, (flexión, cortante y torsión).

La diferencia entre las dos opciones de diseño esta en el control previo que se hace sobre las dimensiones, mientras en el primer se utilizan los preceptos establecidos en la norma Colombiana **NSR-98** capítulo **C.8.5.7**, referente a los requisitos que deben cumplir las vigas de sección T, en el segundo caso se hace control a la altura y ancho mínimo establecidos en **C.9.1** y **C.21.3**, siempre y cuando el usuario haya elegido la opción control de deflexiones, lo cual indica que no se hará un chequeo de deflexiones posteriores al diseño.

Una vez el usuario haya realizado estas acciones, el software permite elegir el tipo de esfuerzos a diseñar. Para el caso de diseño a flexión debe adicionarse el método (ASD ó LRFD), con el cual se desea trabajar.

Finalmente en la opción número dos (diseño completo) se ofrece al usuario la oportunidad de trabajar con cuantías de refuerzo máximas o mínimas. Este tipo de

diseño le ayudara a entender al usuario como varia la sección de acuerdo a la cantidad de refuerzo que se le suministre.

Figura 14 Menú de selección de diseño.

Selección de diseño

Refuerzo unicamente

Diseñar a

- Flexión, Cortante y Torsión.
- Flexión.
- Cortante.
- Torsión.

Método

- Esfuerzos admisibles (WSD)
- Carga última (LRFD)

Opciones de diseño

Cuantía de acero a utilizar

- Por cálculos
- Control deflexiones
- Mínima
- Máxima

Condiciones de la viga

- Sostiene muros divisorios y particiones fragiles (1).
- No sostiene muros divisorios y particiones fragiles (2).

Diseñar a

- Flexión.
- Cortante.
- Torsión.

Método

- Esfuerzos admisibles (WSD)
- Carga última (LRFD)

Condiciones de apoyo (1)

- Simplemente Apoyada
- Un Apoyo Continuo
- Ambos Apoyos Continuos
- Voladizo

Longitud (m)

5

Diagrama de apoyos:

Simplemente apoyada

un apoyo continuo Ambos apoyos continuos Ambos apoyos continuos Voladizo

El formulario de selección de diseño guiará al usuario mediante la habilitación de botones según la elección que se realice. Una vez escogido el diseño a seguir se desplegará la respectiva ventana. El primer diseño tratado es el realizado a flexión para una viga rectangular, para las demás secciones el proceso es similar.

En la ventana de diseño a flexión, el usuario debe seleccionar e ingresar los parámetros de diseño y las dimensiones de la sección, además el software permite ingresar una serie de ecuaciones de momento predominantes a lo largo de la viga, para este fin se ha dispuesto una herramienta denominada editor de

ecuaciones, en donde podrá ubicarse los diferentes tramos con su respectiva ecuación y longitud. El editor permite ingresar las ecuaciones directamente sobre las casillas dispuestas para este fin o cargarlas desde archivos preexistentes, estos deben tener una extensión txt ó SADVigCol y seguir el orden establecido por el software (**Figura 15.**). De esta forma, el software calculará el momento dominante (positivo o negativo) y procederá al cálculo del área de refuerzo requerida para dicho valor de momento y sección. Proceso de mucha importancia, pues para momentos negativos el funcionamiento de la sección se invierte, la parte en compresión pasa a tensión y viceversa, un hecho a tener en cuenta en secciones T, porque al presentarse este evento la sección se convierte en viga rectangular de ancho b_w . Si el usuario no desea ingresar ecuaciones de momento puede asignar un valor directamente para realizar el diseño. Como dato adicional el software con el ingreso de las ecuaciones de momento habilita la opción para generar la curva de Área de acero vs. Momento, que ilustra los cambios en los requerimientos de refuerzo para una viga a lo largo de su longitud (**Figura 16.**).

Para el diseño a flexión, el software ofrece una herramienta de gran utilidad, como es la presentación de una serie de combinaciones que se ajustan para el área de refuerzo calculada, estas combinaciones han sido trabajadas dentro de una base de datos²² en la cual se busca el valor solicitado, conjuntamente con cada combinación se muestra el ancho mínimo que debe presentar la sección para que la combinación pueda distribuirse correctamente (**Figura 17.**).

Una de las ventajas que ofrece el software es su rapidez al realizar los cálculos permitiendo realizar un recalcu cuando las combinaciones no alcanzan en una sola fila y se deben redistribuir, para esto el usuario cuenta con un editor (**Figura 18.**), en donde puede distribuir cualquier combinación que se ajuste al área requerida por el diseño, esta distribución muchas veces genera una

²² Anexos. En: ROCHEL AWAD ROBERTO. HORMIGON REFORZADO. 1 Ed. Bogota: Limusa; 1998. Pàg. 220-221

disminución en el valor del peralte efectivo (d) por lo cuál el área de refuerzo requerida para un valor de momento se aumente, el usuario dentro del editor puede permanentemente observar el área seleccionada, el ancho mínimo (el mayor entre el número total de filas ingresadas) y el valor del peralte efectivo, así como el valor de área de refuerzo requerida por el diseño y una combinación que se ajusta a los requerimientos.

Una vez el usuario seleccione una combinación y haga *click* sobre el botón aceptar, el software recalcula el nuevo refuerzo, si el área de la combinación anterior no cumple con los nuevos requerimientos de diseño (es menor), se imprime un mensaje de advertencia en donde se informa esta situación. Si el usuario lo desea puede dejar esta combinación, si no puede buscar nuevas combinaciones y volver a distribuirlas, pues el software esta programado para realizar hasta dos recálculos. Finalmente cuando el usuario este satisfecho con el diseño, este podrá graficar la sección con el refuerzo seleccionado (**Figura 19.**).

Figura 15 Editor de ecuaciones de momento.

EDITOR DE ECUACIONES

MOMENTO

Ingrese el número de tramos que posee la viga

INGRESE COEFICIENTE DE LAS ECUACIONES (Kgf.m) Longitud (m)

Tramo	X ⁴	X ³	X ²	X ¹	X ⁰	L.tramo(m)
1	0	-37.04	-750	4069.45	0	2.5
2	0	-37.04	-750	3069.45	2500	2
3	0	0	-1000	12000	-36000	1.5

Figura 16 Curva Área de acero vs. Momento.

(Gráfico generado al ingresar una ecuación de momento)

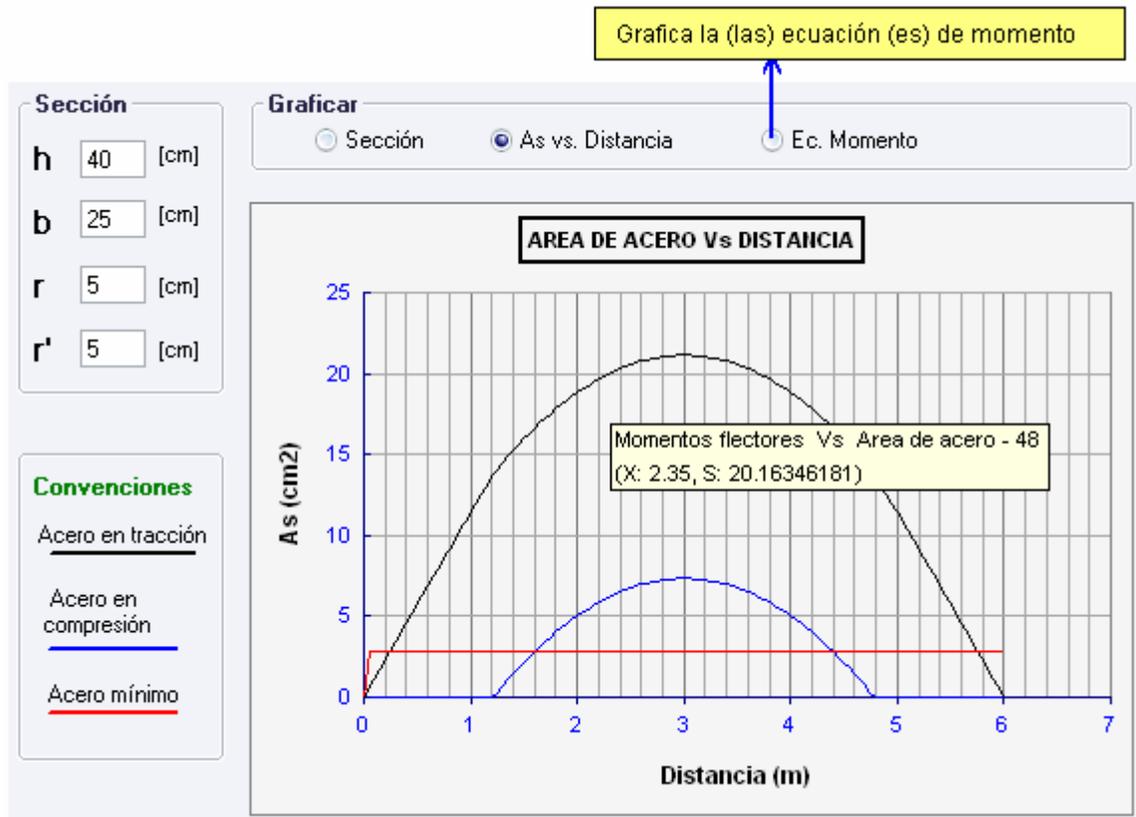


Figura 17 Combinaciones suministradas por la base de datos.

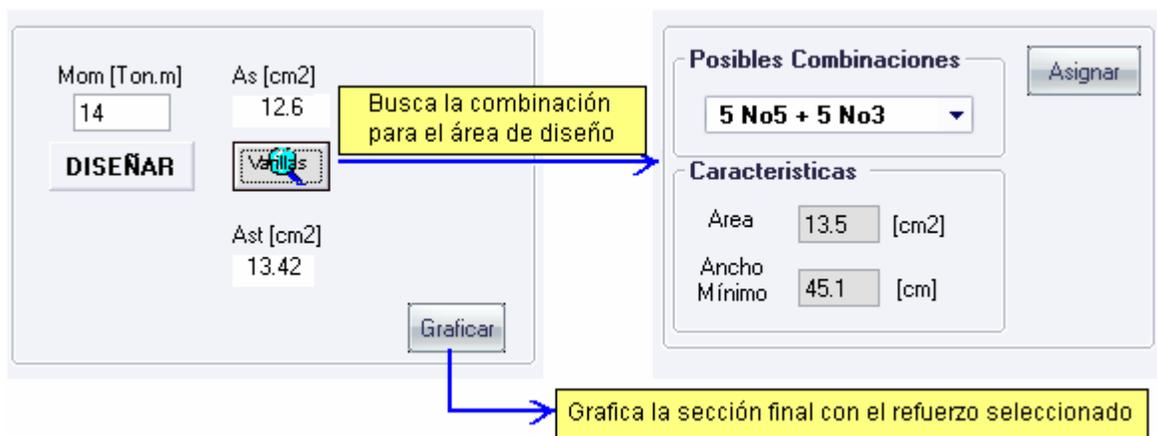


Figura 18 Editor para distribución de combinación.

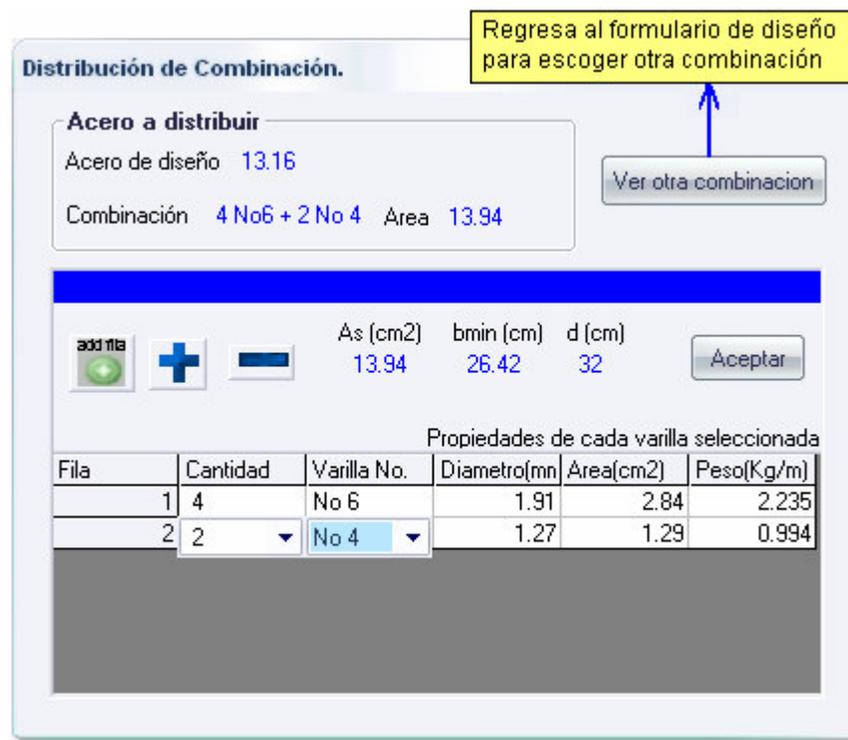
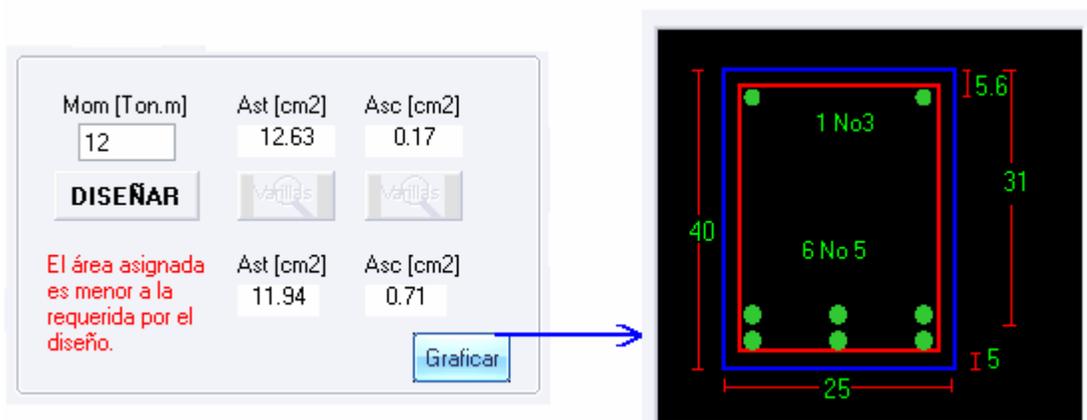


Figura 19 Gráfico sección con refuerzo seleccionado.



Este proceso es similar para cualquiera de los dos métodos de diseño establecidos (ASD y LRFD). Una vez el usuario requiera cambiar de método o de esfuerzos a diseñar (flexión, cortante, torsión) debe regresar al formulario de selección de diseño (**Figura 14.**) y seguir los pasos descritos, si desea además cambiar de sección debe de volver al menú principal.

Otro tipo de esfuerzo que se considera en el diseño es el provocado por la fuerza cortante, para este diseño con los datos de sección y parámetros de diseño se calcula la separación de los flejes, todos estos cálculos además de considerar los valores teóricos tienen en cuenta lo estipulado en la norma **NSR-98** Capítulo **C.21.3.3** (capacidad de disipación de energía en el rango inelástico).

Al igual que en flexión el usuario puede ingresar o cargar ecuaciones de cortante, como se mencionó para el anterior editor (**Figura 20.**), estas deberán contener número de tramos, longitud del mismo y el número de apoyos que presenta la viga con su respectiva distancia medida de izquierda a derecha (acumulada), condición que permitirá al software cumplir por lo estipulado por la norma Colombiana NSR-98 “deben colocarse estribos hasta una distancia de $(2*d)$ medida desde la cara de los apoyos” y realizar una curva, donde se grafica la separación de flejes vs. distancia (**Figura 21.**).

Si el usuario simplemente requiere conocer una separación para un cortante dado puede hacerlo ingresando su valor.

Figura 20 Editor de ecuaciones de cortante.

EDITOR DE ECUACIONES

  → Abrir o guardar las ecuaciones

Carga las ecuaciones y regresa al formulario de diseño

CORTANTE

Ingrese el número de tramos que posee la viga:

INGRESE COEFICIENTE DE LAS ECUACIONES (Kgf) Longitud (m)

Tramo	X ³	X ²	X ¹	X ⁰	tramo(m)
1	0	-111.1	-1500	4069.45	2.5
2	0	-111.1	-1500	3069.45	2
3	0	0	-2000	12000	1.5

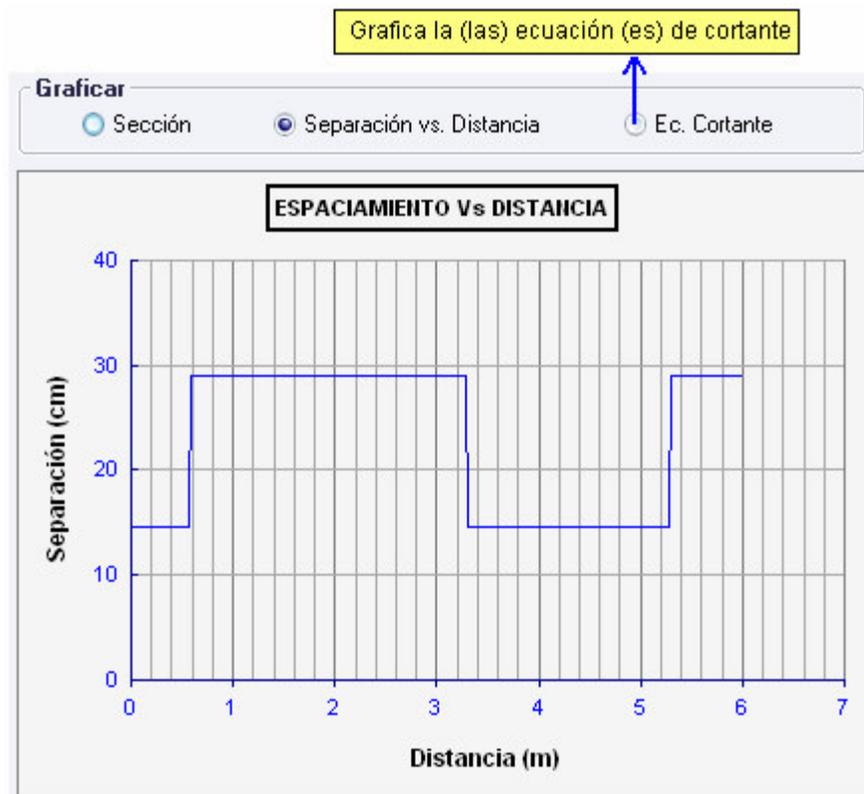
No de apoyos:

Apoyo No. Distancia (m)

1	<input type="text" value="0"/>
2	<input type="text" value="4.5"/>

Distancia medida de izquierda a derecha acumulada

Figura 21 Curva separación de flejes vs. Distancia en la viga.

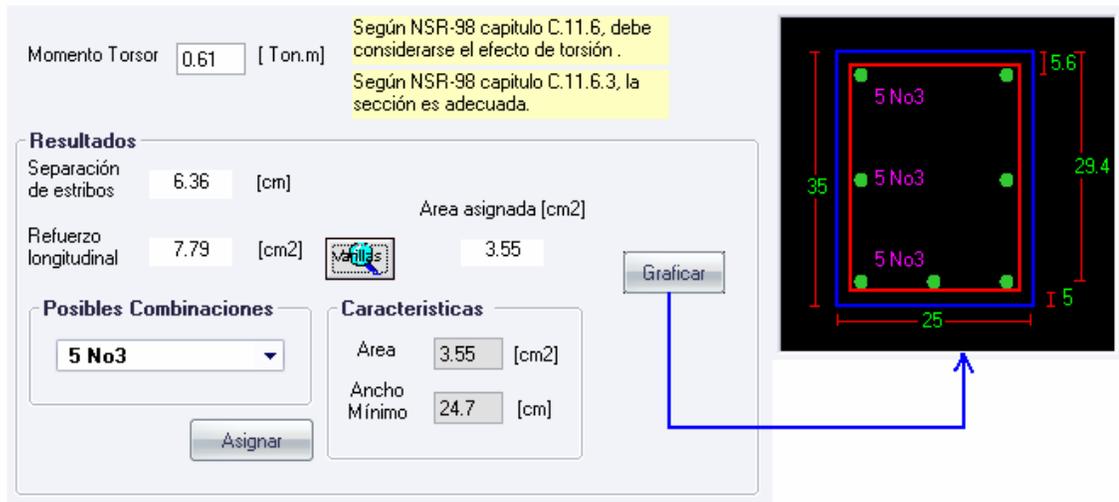


Para finalizar el diseño de vigas, el software incluye la solicitud a torsión que, esta solicitud se encuentra muy bien explicado en los textos de diseño de hormigón²³ así como en la norma Colombiana **NSR-98** Capitulo **C.11.6**.

Para este tipo de diseño el usuario debe de ingresar las dimensiones de la sección, los parámetros de diseño y un valor específico de momento torsor, en seguida el software calcula el refuerzo longitudinal (área de acero ubicada en tracción, compresión y al medio) como el transversal (separación de flejes).

Igualmente en este diseño, el usuario puede buscar las combinaciones para el refuerzo solicitado y obtener una gráfica ilustrativa. (**Figura 22.**).

Figura 22 Diseño a torsión, Presentación de resultados.



Anteriormente fueron descritos los diseños por separado, pero es muy común que en la práctica se presenten estos tres tipos de solicitaciones en conjunto, es por

²³ McCormac Jack C. Diseño de concreto reforzado: 4 ed. México: Alfaomega; 2002 Pág. 535-557. R. Park, T. Paulay. Estructuras de Concreto Reforzado. 3 ed. México: Limusa;1994.Pág. 357-403. Segura Franco Jorge I. Estructuras de concreto 1: 5 ed. Bogota: Unibiblos;2002 Pag. 142-50

esto que dentro del software el usuario puede determinar el refuerzo necesario (Longitudinal y transversal) para una viga determinada. Para este tipo de diseño el usuario puede ingresar los valores de momento y cortante o utilizar el editor de ecuaciones para que este determine los máximos.

Para realizar el diseño completo el software igualmente solicita los datos de diseño básicos (dimensiones y parámetros de diseño), posteriormente utiliza las fórmulas de diseño por cada tipos de esfuerzo (flexión, cortante y torsión) y finalmente reúne los datos para reportar un refuerzo final que satisfaga a las condiciones de esfuerzos totales a los que se encuentra sometida la sección en estudio.

La presentación de resultados se hace de forma gráfica similar a las ya explicadas. Así mismo, el usuario tiene acceso al buscador de combinaciones para las áreas solicitadas por diseño, en cuanto a flexión hay la posibilidad de realizar recálculos al área de acero ante la imposibilidad de distribuirla en una sola fila.

Antes de pasar al tema de columnas es importante mencionar que el software realiza diseño a flexión biaxial para vigas de sección rectangular, para esto el usuario debe seleccionar en el menú principal diseño de viga rectangular la opción biaxial, esto desplegará la ventana dispuesta para tal fin. El diseño se soporta en el análisis de las fórmulas y conceptos citados por R. Park y T. Paulay²⁴.

Las condiciones de entrada están determinadas por sección, parámetros de diseño y momentos en el sentido X y Y, el software procesa e imprime el área de acero en tracción y compresión que se requiera. El usuario para este caso también tiene a su disposición el buscador de combinaciones para asignar el refuerzo diseñado. El proceso y las fórmulas empleadas se describen en el diagrama de flujo presentado en anexos (**Anexo 4.**).

²⁴ R. Park, T. Paulay. Estructuras de Concreto Reforzado. 3 ed. México: Limusa;1994.Pág. 111-118

Para el diseño de columnas se tuvo en cuenta la teoría presentada por varios textos²⁵ de diseño en concreto reforzado.

En columnas el usuario puede escoger entre diseño a Flexocompresión axial o biaxial y a la vez la sección (rectangular o circular).

En el diseño convencional de columnas emplea diagramas de interacción, permitiendo al diseñador ingresar con los valores establecidos en los ejes y determina el punto de intersección (valor de la cuantía de acero), así puede determinar el refuerzo requerido, esta metodología esta expuesta a errores de apreciación, pues difiere entre uno y otro diseñador.

El software genera las gráficas de interacción según las dimensiones de sección y parámetros de diseño establecidos. La elaboración de estas curvas se rigen a lo establecido en la norma **NSR-98** Capitulo **C.10.3** y **C.10.9.1** en cuanto a cuantías de acero, deformaciones máximas en la sección transversal.

El usuario puede graficar diferentes números de curvas variando el porcentaje inicial de acero, el porcentaje final o el incremento (**Figura 23.**). Para el diseño el programa solicita los datos de sección, parámetros de diseño, carga axial y momento flector, una vez se proporcionen estos datos el software recorre las curvas de interacción y determina la cuantía requerida para el diseño de acuerdo a las solicitudes del problema (**Figura 24.**). Este trabajo que manualmente es muy tedioso, el software lo realiza en un tiempo supremamente inferior.

²⁵ McCormac Jack C. Diseño de concreto reforzado: 4 ed. México: Alfaomega; 2002 Pág. 291-345
R. Park, T. Paulay. Estructuras de Concreto Reforzado. 3 ed. México: Limusa;1994.Pág. 123-168.
Nawy Edward G. Concreto Reforzado: 2 ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A;1998
Pág. 320-407

El diseño uniaxial o biaxial emplea la misma metodología en el uso de las curvas de interacción, en el caso de columnas de sección circular simplemente se transforman los momentos en los sentidos X y Y, en un solo momento equivalente $Mu = \sqrt{(Mux)^2 + (Muy)^2}$, como lo menciona Jack C. McCormac²⁶ “Las columnas circulares tienen simetría polar y por ende la misma capacidad última en todas las direcciones. Por lo tanto el proceso de diseño es el mismo, independientemente de las direcciones de los momentos. Si existe flexión respecto a los ejes X y Y, el momento biaxial puede calcularse combinando los dos momentos”. Para formas distintas a la circular es necesario considerar los efectos de la interacción tridimensional, es por ello que en el diseño biaxial de secciones rectangulares se tuvo en cuenta la teoría planteada por el Método de las Cargas Recíprocas de Bresler y el del Contorno de las Cargas de la PCA. Todo el proceso del diseño se muestra en los diagramas de flujo para el diseño de columnas axial y biaxial presentados en anexos (**Anexo 5. y Anexo 6.**).

²⁶ McCormac Jack C. Diseño de concreto reforzado: 4ta ed. México: Alfaomega; 2002 Pág. 336-340

Figura 23 Curvas de interacción para diseño de columnas.

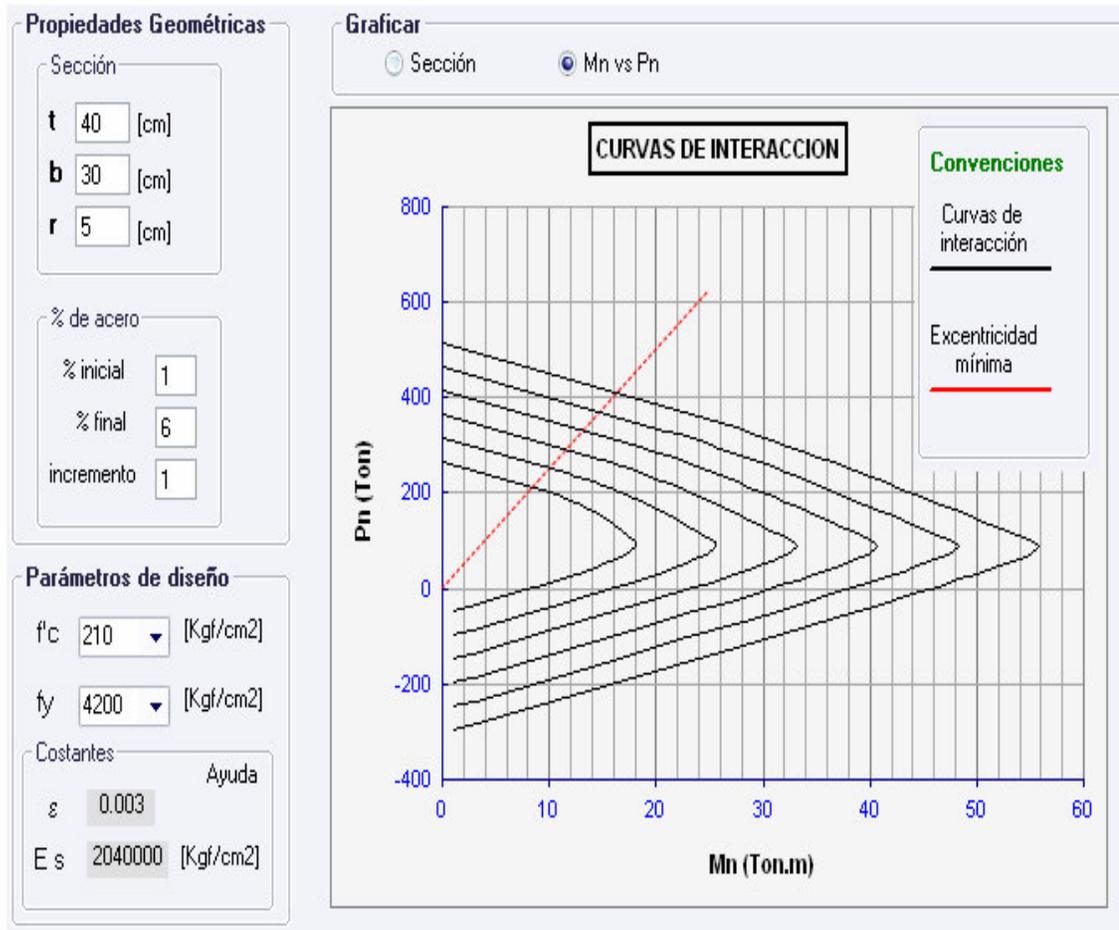
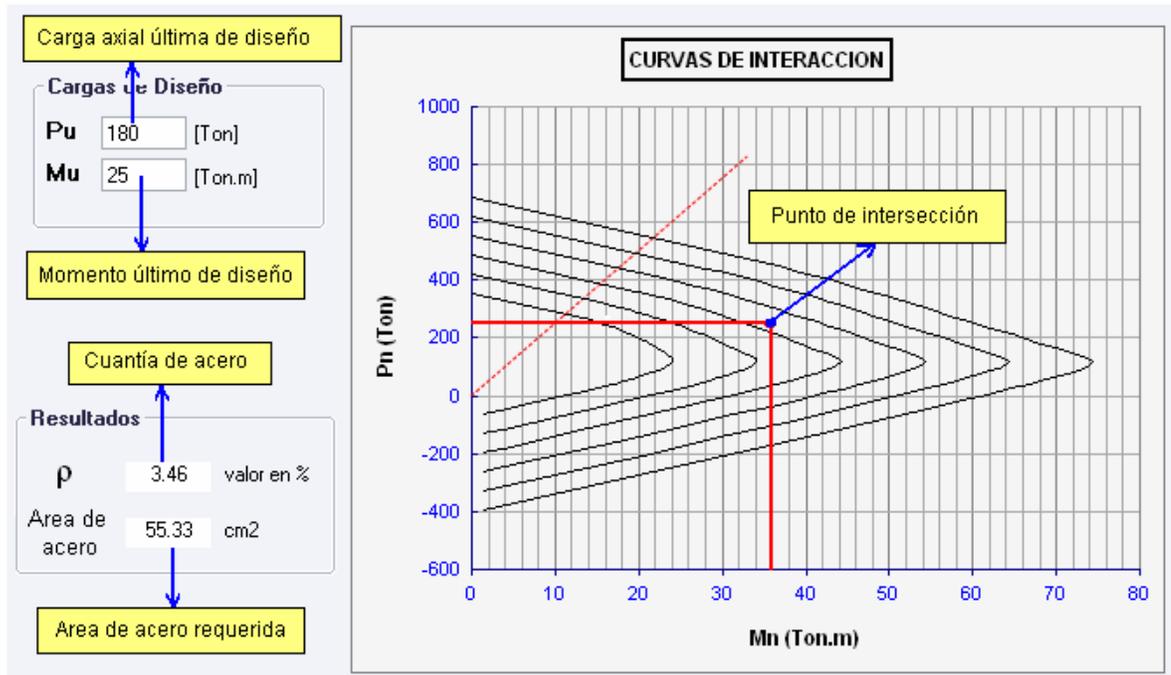


Figura 24 Determinación de la cuantía por parte del software.



Cabe mencionar que las cargas ingresadas por el usuario son últimas, mientras que las graficadas por el software son nominales (Carga axial nominal (P_n) Vs. Momento nominal (M_n)), por lo tanto, si el usuario desea determinar el punto de intersección debe dividir las cargas ingresadas por el coeficiente (0.7 para columnas con refuerzo transversal rectangular y 0.75 para columnas con refuerzo transversal en espiral).

El software en el cálculo del área de refuerzo para solicitaciones uniaxiales en columnas presenta un margen de error de 0.1% en cuantía de acero con respecto al área bruta de la sección (Área de Concreto) por los requerimientos del sistema (PC). Por lo que los valores obtenidos en revisión y diseño difieren.

Por último cuando el usuario este dentro del software recibirá información a través de mensajes emergentes que le presentan datos de gran importancia en cuanto a

aspectos de diseño se refiere. Esta información viene acompañada de su ubicación, y en la mayoría de los casos remite a las Normas Colombianas de Diseño y construcción sismorresistente (**NSR-98**), ya que el software se realizó bajo los lineamientos establecidos en esta norma.

Como dato adicional el usuario podrá observar, que durante la ejecución del software, al pasar el Mouse sobre algunos elementos el puntero cambiara de forma adicionándose un signo de pregunta (**Figura 25.**), indicador que recuerda al usuario que existe un texto aclaratorio (véase **Anexo 12.**) sobre este concepto. Para visualizarlo el usuario deberá pulsar el botón F1 sobre el elemento.

Figura 25 Indicador del archivo ayuda



8. MANUAL DE USUARIO

El funcionamiento normal del software se garantiza previa configuración regional del equipo, cambiando o verificando la separación decimal de coma (,) a punto. El usuario debe ingresar al panel de control, elegir la opción configuración regional y hacer *click* sobre el botón personalizar donde se edita la opción números, como se ilustra en las **Figuras 26 y 27**:

Figura 26 Ingreso al panel de control

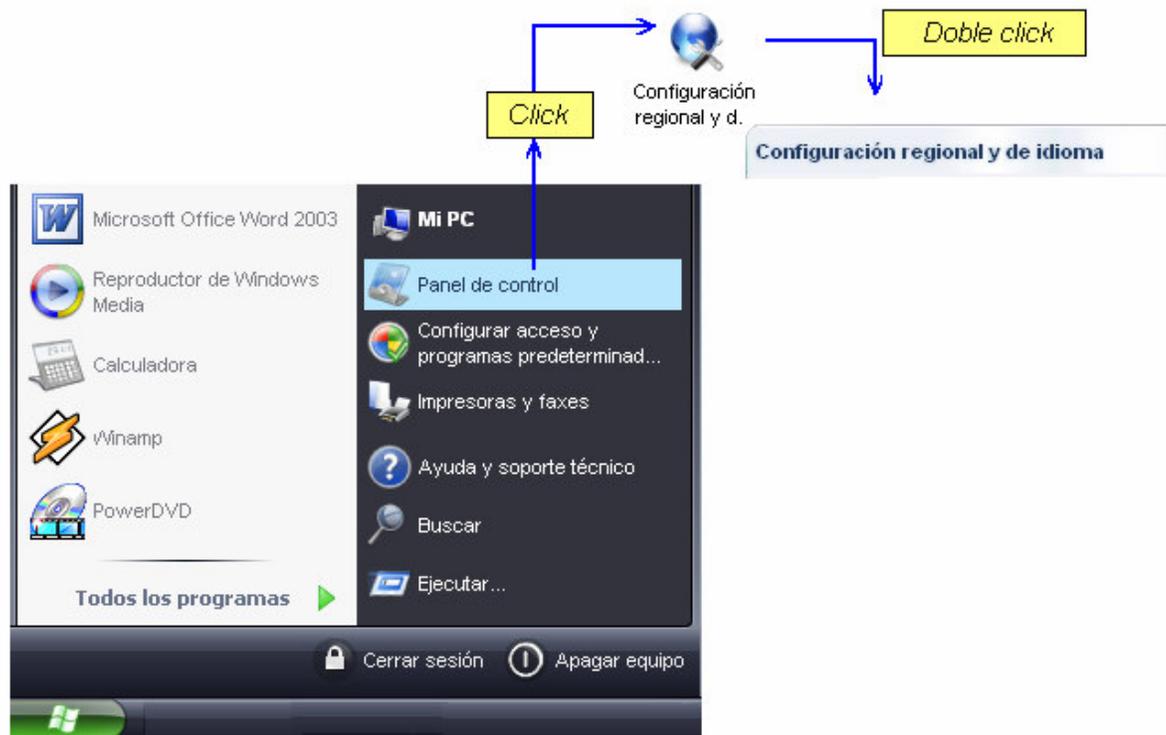
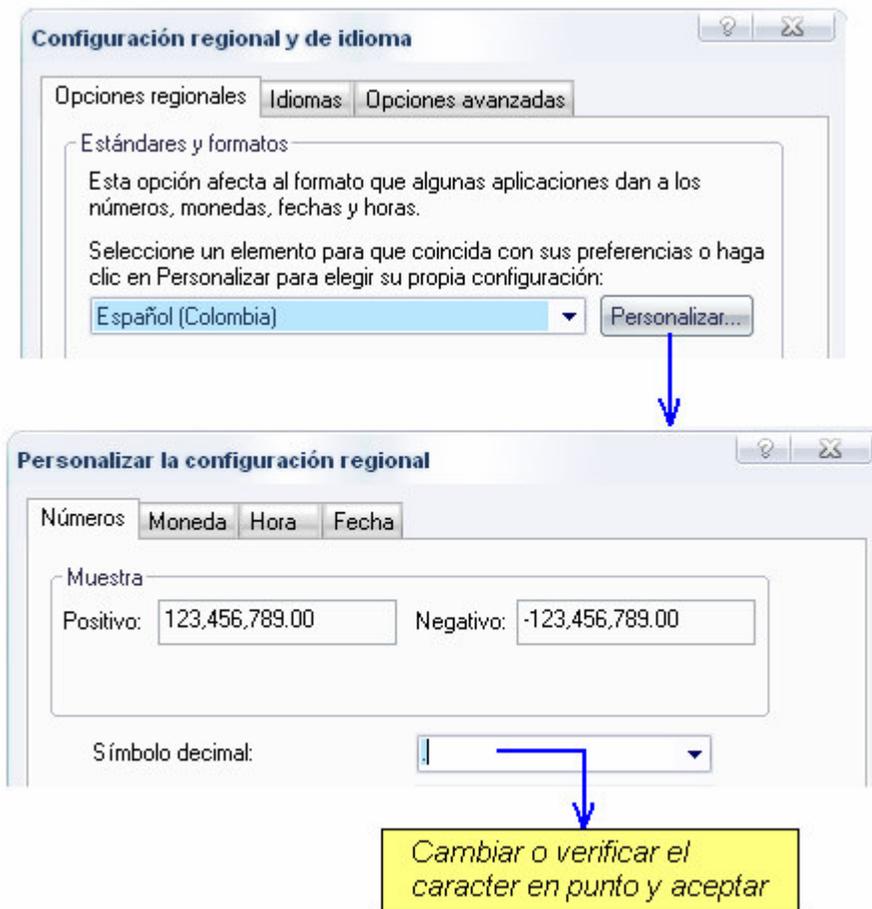


Figura 27. Configuración regional



Dentro del paquete el software ha incluido una serie de videos que ilustran al usuario la manera de operar las diferentes funciones y herramientas dispuestas para ejecutar los distintos procedimientos de cálculo.

Tutorial SADVigCol

Nombre de video	Descripción
Análisis de vigas a flexión (rectangular)	Describe el proceso y las opciones a seguir durante el análisis de una viga rectangular (Flexión). Este proceso es similar para las demás secciones.

Análisis de Columnas sometidas a flexión uniaxial (rectangular)	Describe el proceso y las opciones a seguir durante el análisis de una columna sometida a flexión uniaxial (rectangular). Este proceso es similar para la sección circular.
Diseño a cortante en vigas T	Describe el proceso y las opciones a seguir durante el diseño de una viga T (Cortante). Este proceso es similar para las demás secciones.
Diseño a flexión en vigas rectangulares	Describe el proceso y las opciones a seguir durante el diseño de una viga rectangular (flexión). Este proceso es similar para las demás secciones.
Diseño a Torsión en vigas I	Describe el proceso y las opciones a seguir durante el diseño en una viga I (Torsión). Este proceso es similar para las demás secciones.
Diseño uniaxial columnas circulares	Describe el proceso y las opciones a seguir durante el diseño en una columna circular con esfuerzos uniaxiales. Este proceso es similar para secciones rectangulares.
Diseño biaxial Columnas rectangular	Describe el proceso y las opciones a seguir durante el diseño de una viga rectangular con esfuerzos biaxiales. Este proceso es similar en secciones circulares.

9. CONCLUSIONES

El software ofrece rapidez para realizar diferentes cálculos que facilitan el análisis con incrementos del área de acero, sección en concreto y parámetros de diseño, mostrando con mucha claridad la eficiencia que estos representan en el aumento a la resistencia a flexión.

En secciones rectangulares las fórmulas deducidas para el método de carga última (LRFD), son aplicables hasta que la posición del eje neutro no sobrepase el valor del peralte efectivo (d), garantizando así el equilibrio estático de la sección. **(Anexo 14.)**

Realizando un análisis por el método de carga última de la eficiencia del acero a compresión frente a su aporte a la capacidad a la flexión, permite establecer que éste no debe superarse el 30% del acero a la tracción. **(Anexo 13 – ejemplo 1).**

En el análisis por el método de Esfuerzos Admisibles, la relación entre el área de acero en tracción y el área efectiva de la sección ($B*d$), es inversamente proporcional al módulo de elasticidad. **(Anexo 13 – ejemplo 2)**

Según el método Esfuerzos de trabajo (ASD), el cambio de agregados con un módulo de elasticidad menor genera un alto incremento en la resistencia a la compresión del concreto ($f'c$) para mantener la misma capacidad a la flexión (M_u). Aumentando desde luego los costos en cualquier proyecto. **(Anexo 13 – ejemplo 3)**

El incremento en el espesor del ala en una viga T no genera variación en el valor de la resistencia a flexión en el método de carga última (LRFD), siempre y cuando el eje neutro se localice en las alas. **(Anexo 13 – ejemplo 4).**

Cuando se requiera aumentar la resistencia a la flexión para el caso de diseño y si las condiciones estructurales lo permiten, es más económico aumentar la altura de la sección que la resistencia a la compresión del concreto (**Anexo 13 – ejemplo 5**).

El software elimina las limitantes que presentan las gráficas de interacción prediseñadas en cartillas comerciales para el diseño de columnas, pues se generan para cualquier valor de resistencia nominal del concreto a la compresión (f'_c) y del acero a la fluencia (f_y).

El software mediante mensajes emergentes permite visualizar los diferentes conceptos normativos estipulados en la norma Colombiana de diseño y construcción sismorresistente NSR-98, que pueden pasar desapercibidos en la revisión y diseño de secciones en concreto reforzado.

Las gráficas área de acero de refuerzo vs. resistencia a flexión son similares en su comportamiento a las generadas por las ecuaciones de momento, debido a la proporcionalidad que existe entre momento y área de refuerzo requerida.

10. RECOMENDACIONES

Generar un compromiso por parte de la universidad de Nariño, para diseñar metodologías que incentiven al cuerpo estudiantil a crear herramientas informáticas globales que permitan su posterior actualización y acoplamiento a un gran proyecto que satisfaga los requerimientos constructivos que demanda la sociedad nariñense.

Investigar como afecta el origen del agregado y su correspondiente módulo de elasticidad, en la determinación de la resistencia a la flexión utilizando el método de resistencia última.

Utilizar agregados de acuerdo a la resistencia de los materiales (concreto y acero), si se diseña según el método de esfuerzos admisibles (ASD), pues en primera instancia los agregados que aportan mejores resultados en el diseño son los de origen ígneo, seguidos por los metamórficos, desconocidos y sedimentarios, de acuerdo al incremento en la relación entre el área de acero en tracción (A_{st}) y el área efectiva de la sección ($B*d$).

BIBLIOGRAFIA

AGREDA MONTENEGRO, Esperanza Josefina. Guía de Investigación Cualitativa Interpretativa. San Juan de Pasto: CESMAG, 2004. 115 p.

ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. Normas Colombianas de Diseño y construcción sismorresistente NSR 98. Bogotá: 1998.

FERGUSON, Phil M. Fundamentos del concreto reforzado. Tercera edición México: Compañía editorial continental, S.A. 1983.

GARY, Cornell & TROY, Strain. Visual Basic 4 para programadores. España: Mc Graw Hill, 1997.

Gaylord, Edwin H & Gaylord Charles N. Estructuras de concreto (Hormigón) Manual practico. México: McGraw-Hill, Marzo de1993.

McCORMAC, Jack C. Diseño de concreto reforzado. 4^a edición. México: Alfaomega, 2002. 784 p.

NAWY, Edward. G. Concreto reforzado. México: Prentice-Hall, 1997.

ORESTE, Moretto. Curso de hormigón armado. Buenos Aires Argentina: EL ATENEO, 1967.

PERRY, Greg, Aprendiendo Visual Basic 6 en 21 días, Prentice Hall, Pearson & Addison Wesley Longman, 1998.

PRESSMAN, Roger S. Ingeniería del software un enfoque práctico, 5ª edición. Madrid: Mc Wraw-Hill Interamericana de España S.A.U. 2002. 601pág.

R. Park & T. Palay. Estructuras de concreto reforzado. México: LIMUSA, 1991.

SEGURA, FRANCO, Jorge, Estructuras de concreto. Bogotá Colombia UNIVERSIDAD NACIONAL, 1989.

WINTER, Jorge. & Nilson, Arthur H. Proyecto de estructuras de Hormigón. Bogotá: Reverté, 1977.

www.microsoft.com sitio de consulta de manejo de software, MICROSOFT COMPANY. Revisado 3 de junio 2006.

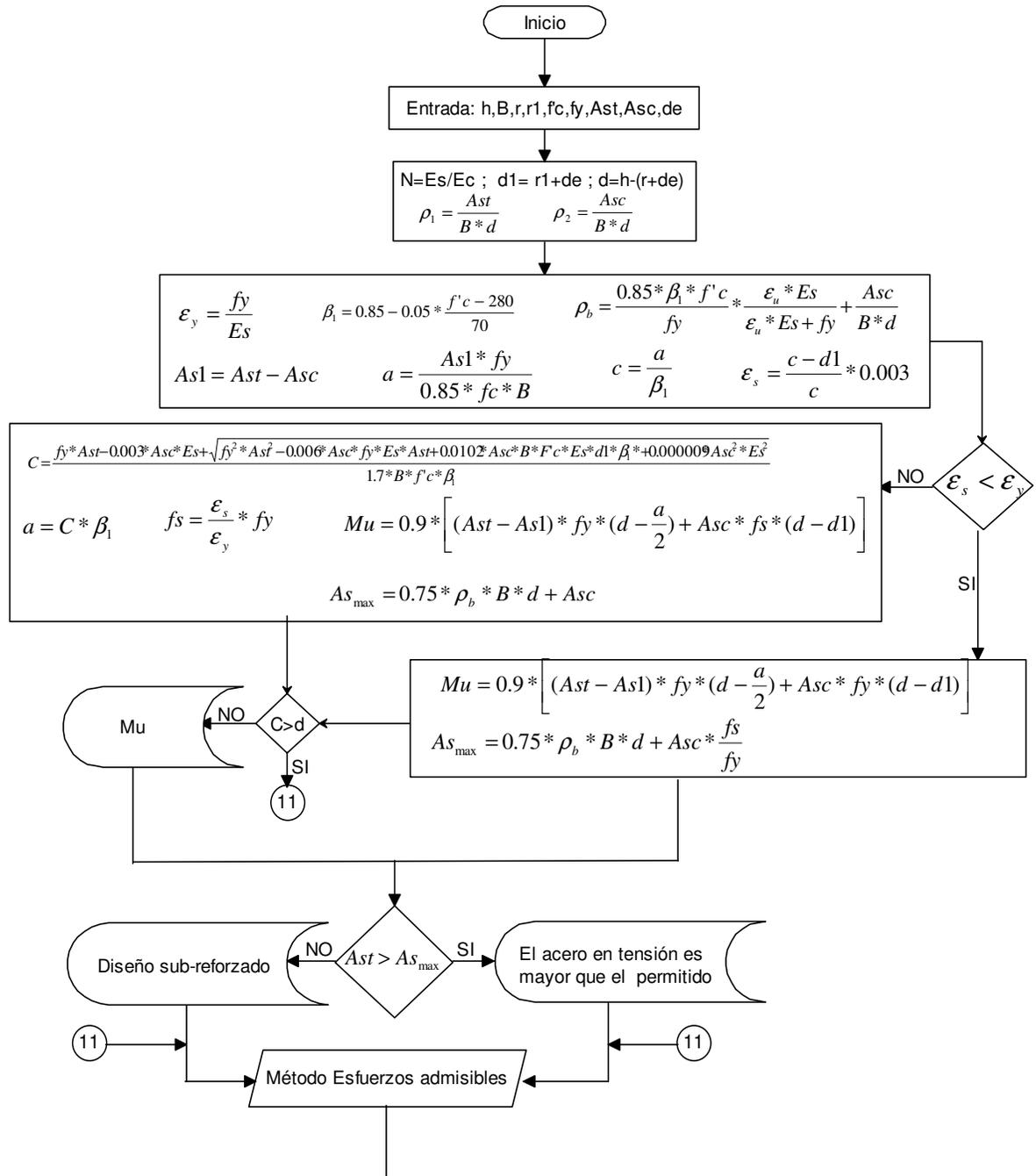
www.construaprende.com sitio de consulta y distribución de software de ingeniería, ASOCIACION DE INGENIERIA, México. Revisado 27 mayo 2006.

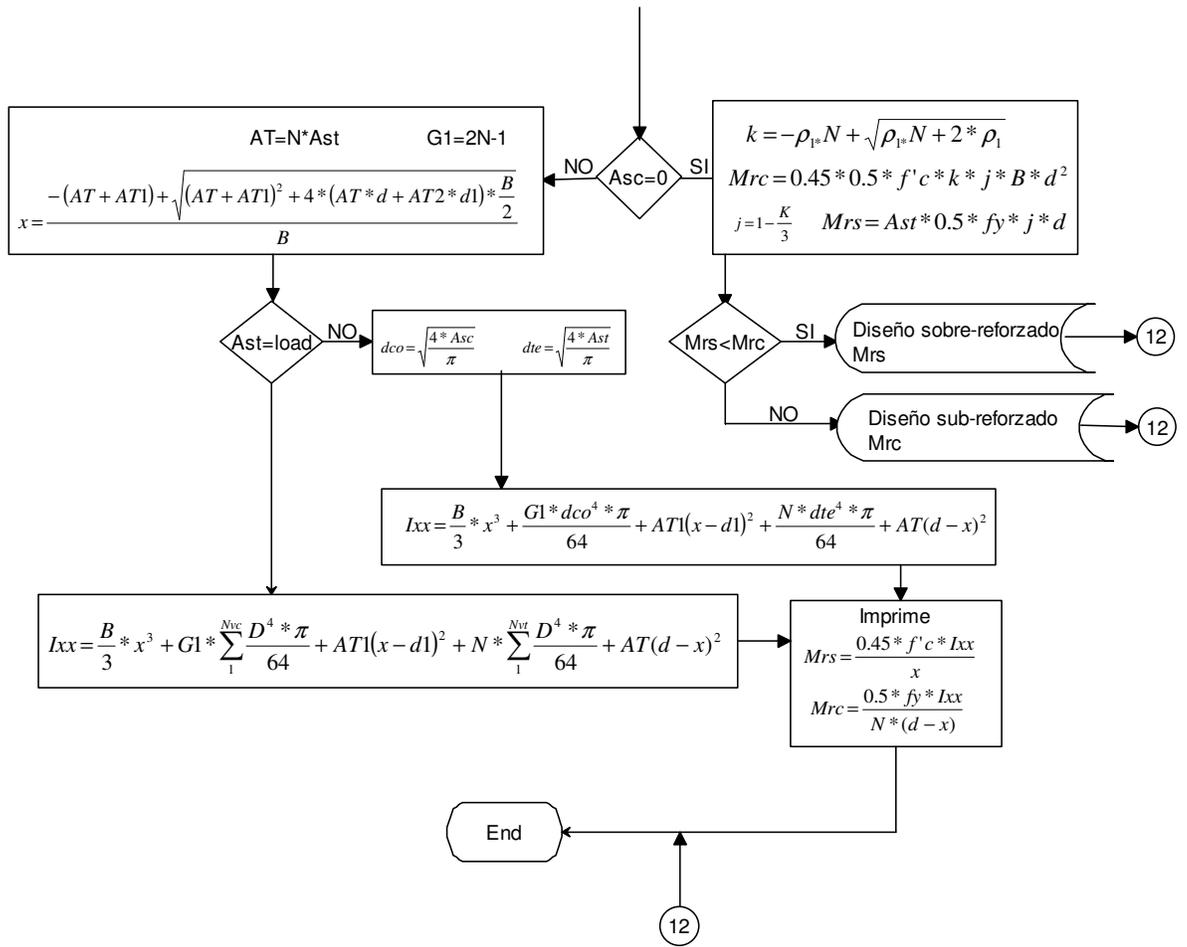
www.engsoftwarecenter.com Directorio de software de estructuras, hidrología, construcción, arquitectura, transportación. ENGINEERING SOFTWARE CENTER. Revisado 3 junio 2006.

www.areadecalculo.com Software de Ingeniería en Internet, AREA DE CÁLCULO. Revisado 10 junio 2006.

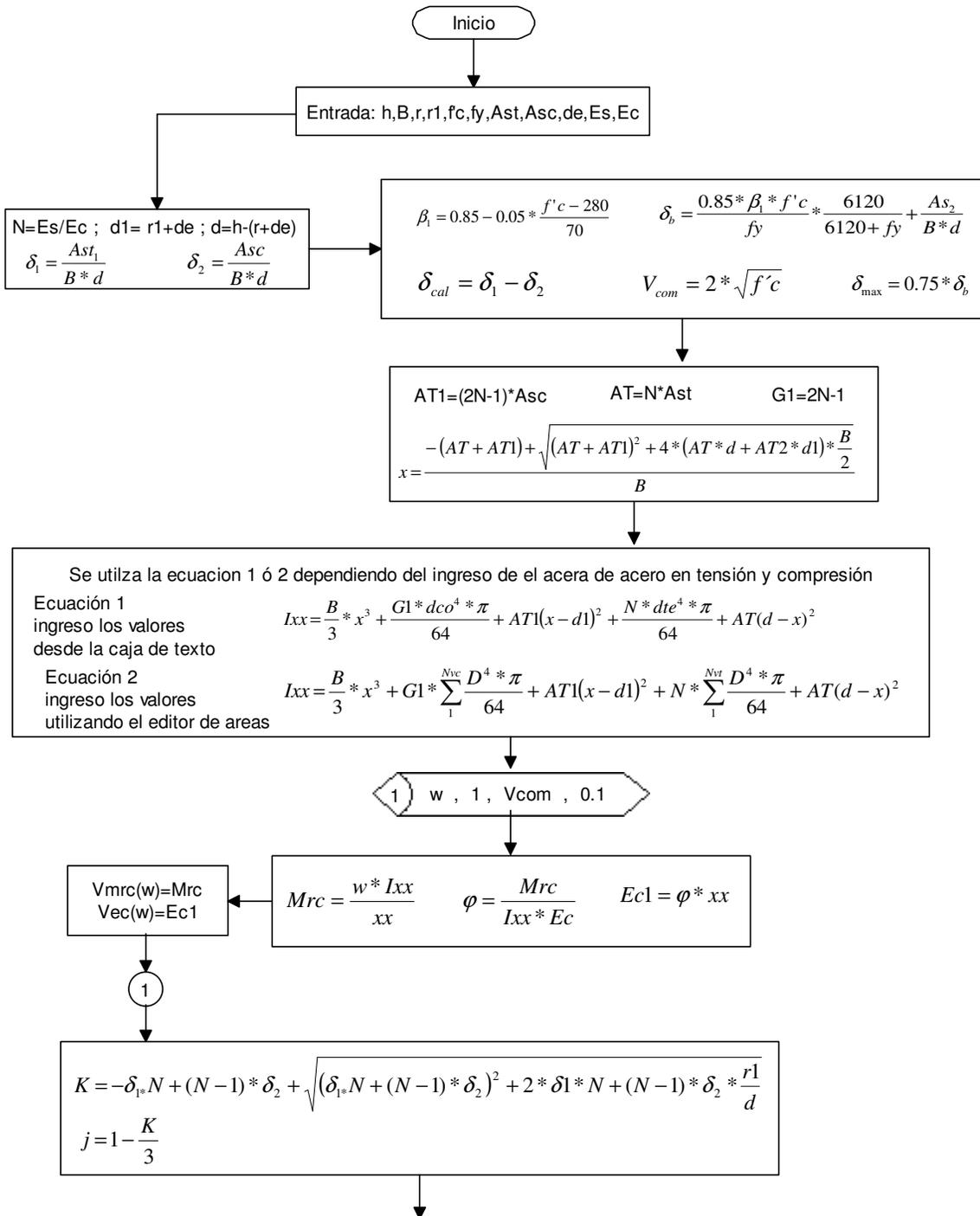
ANEXOS

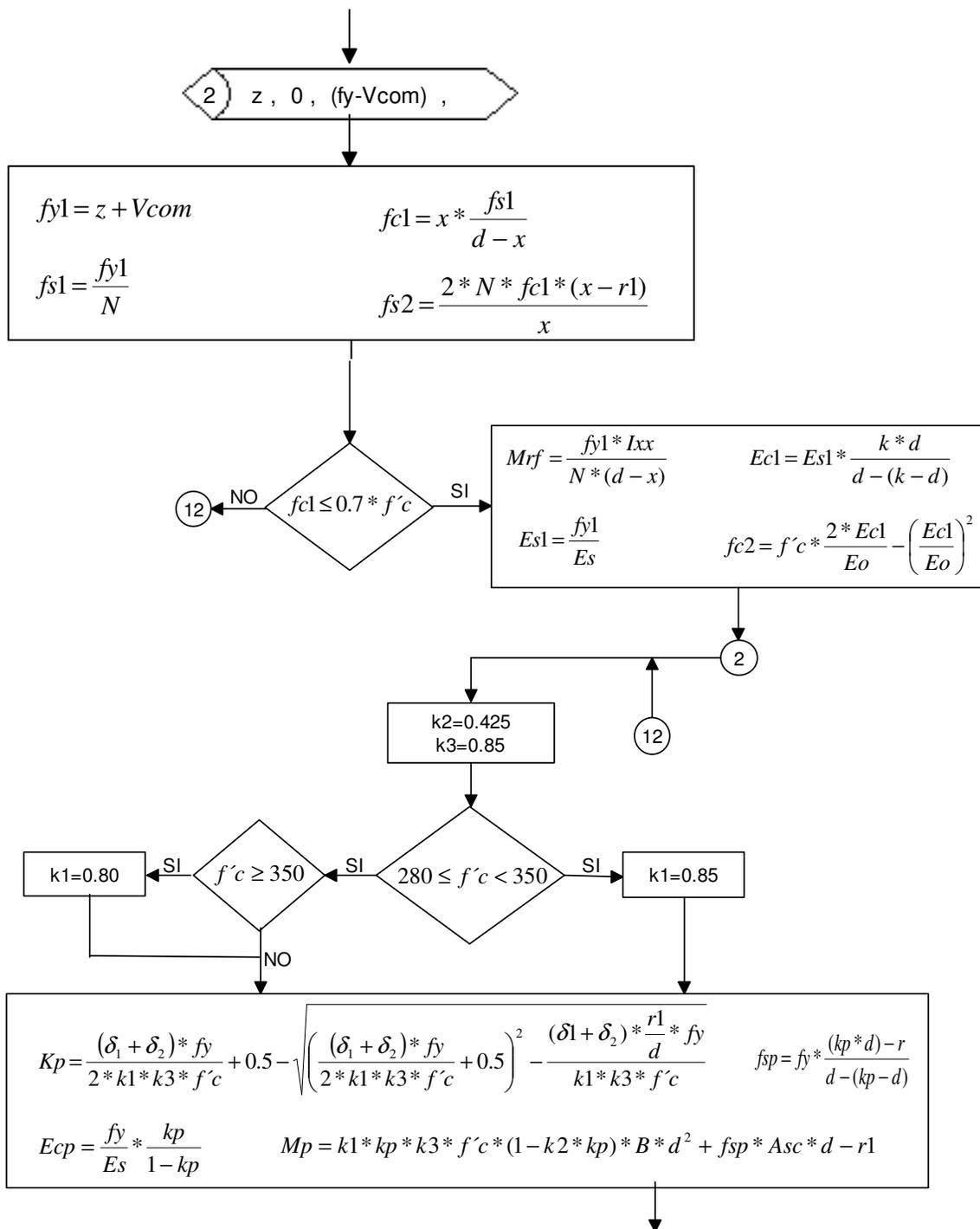
Anexo 1 Diagrama de flujo para el análisis a flexión de vigas rectangulares.

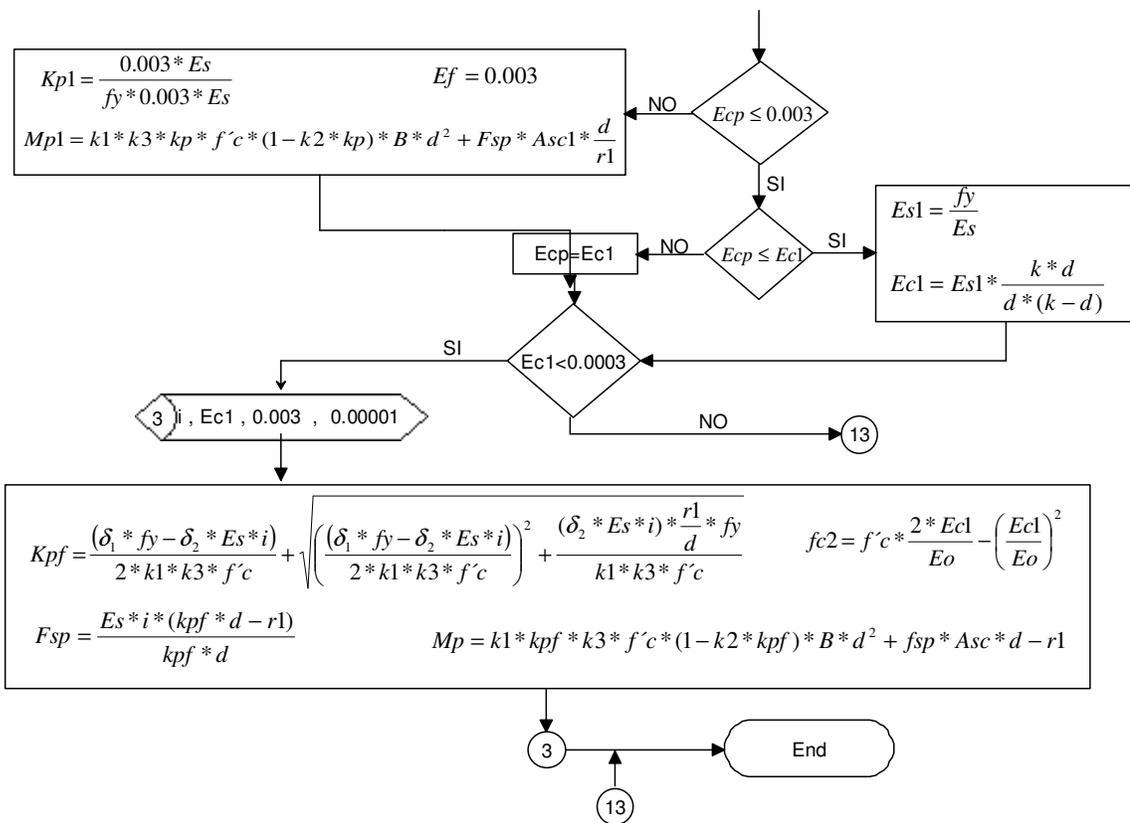




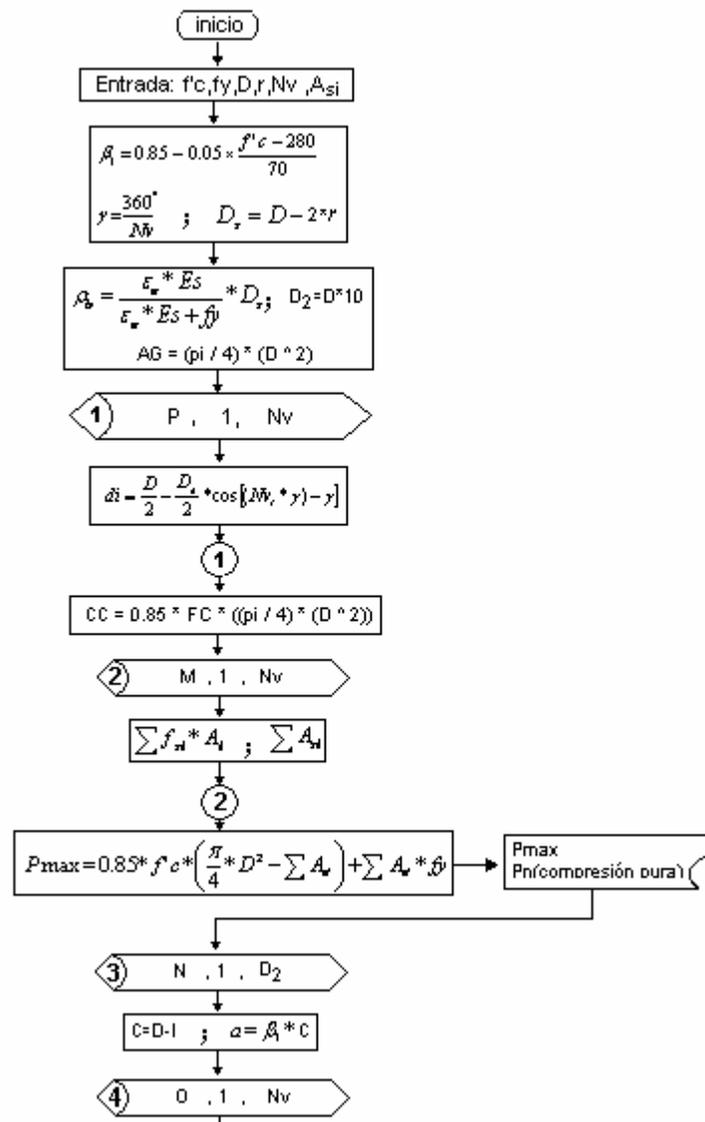
Anexo 2 Diagrama de flujo para el análisis de estado de sección vigas rectangulares.

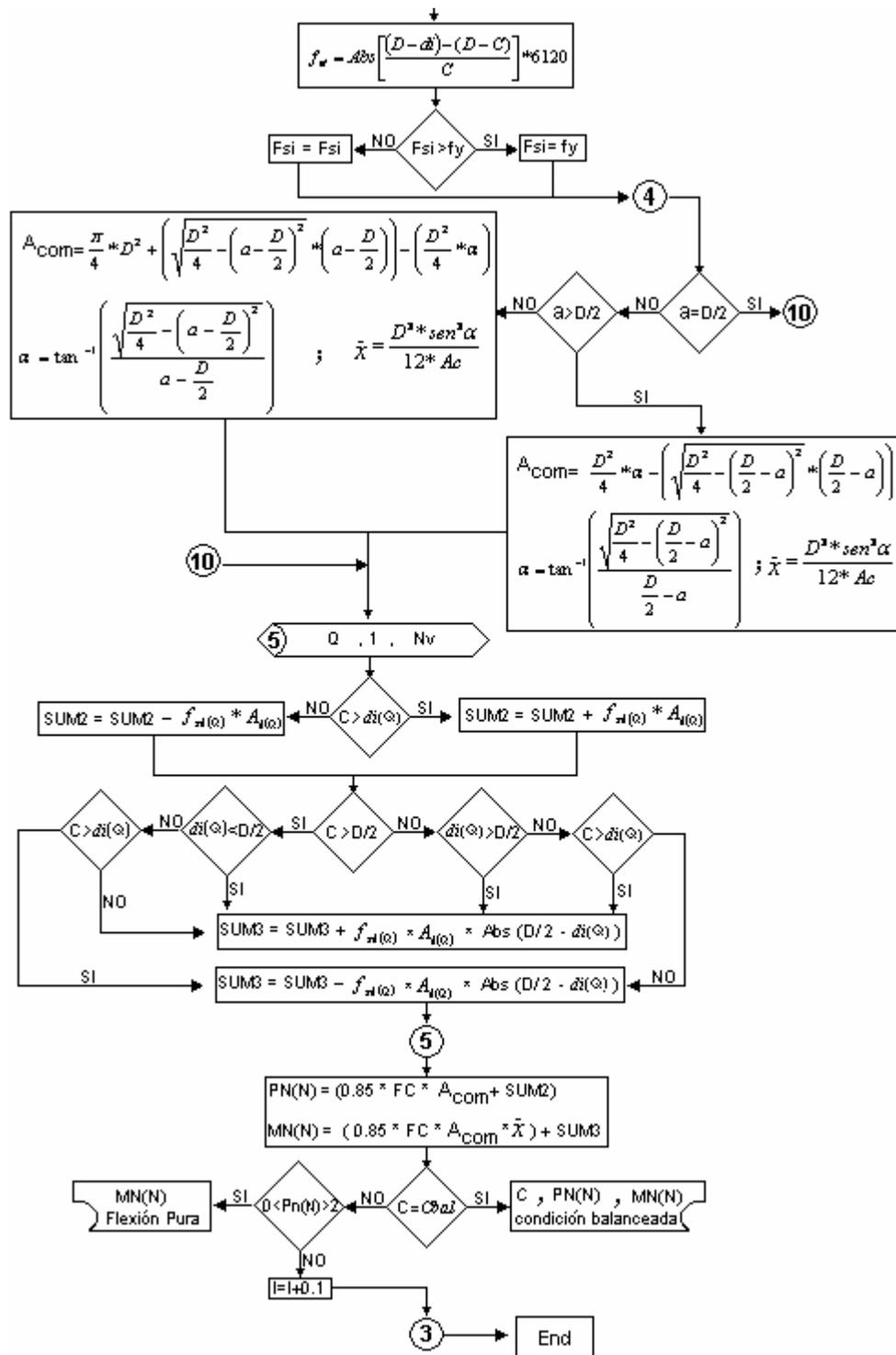




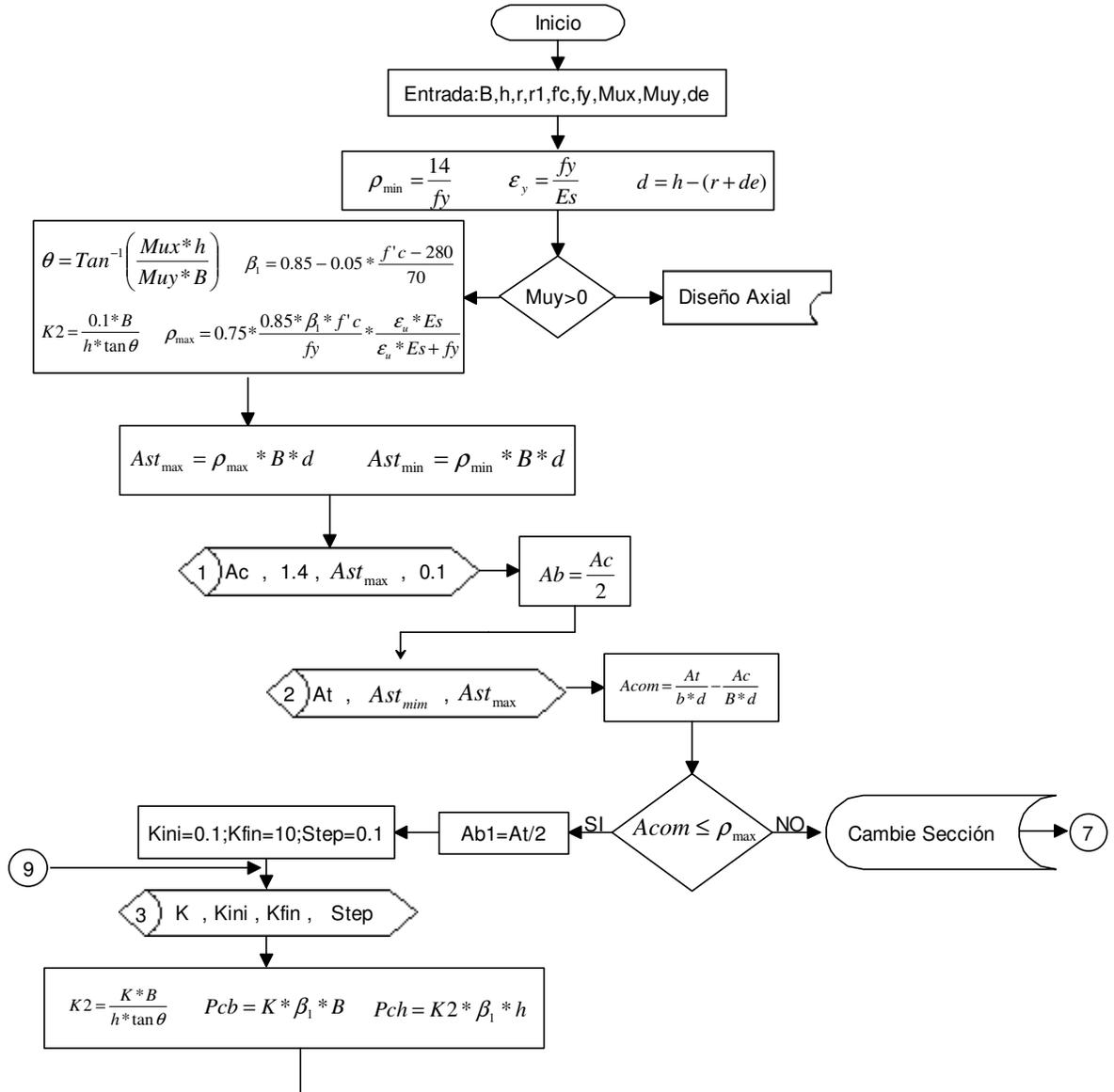


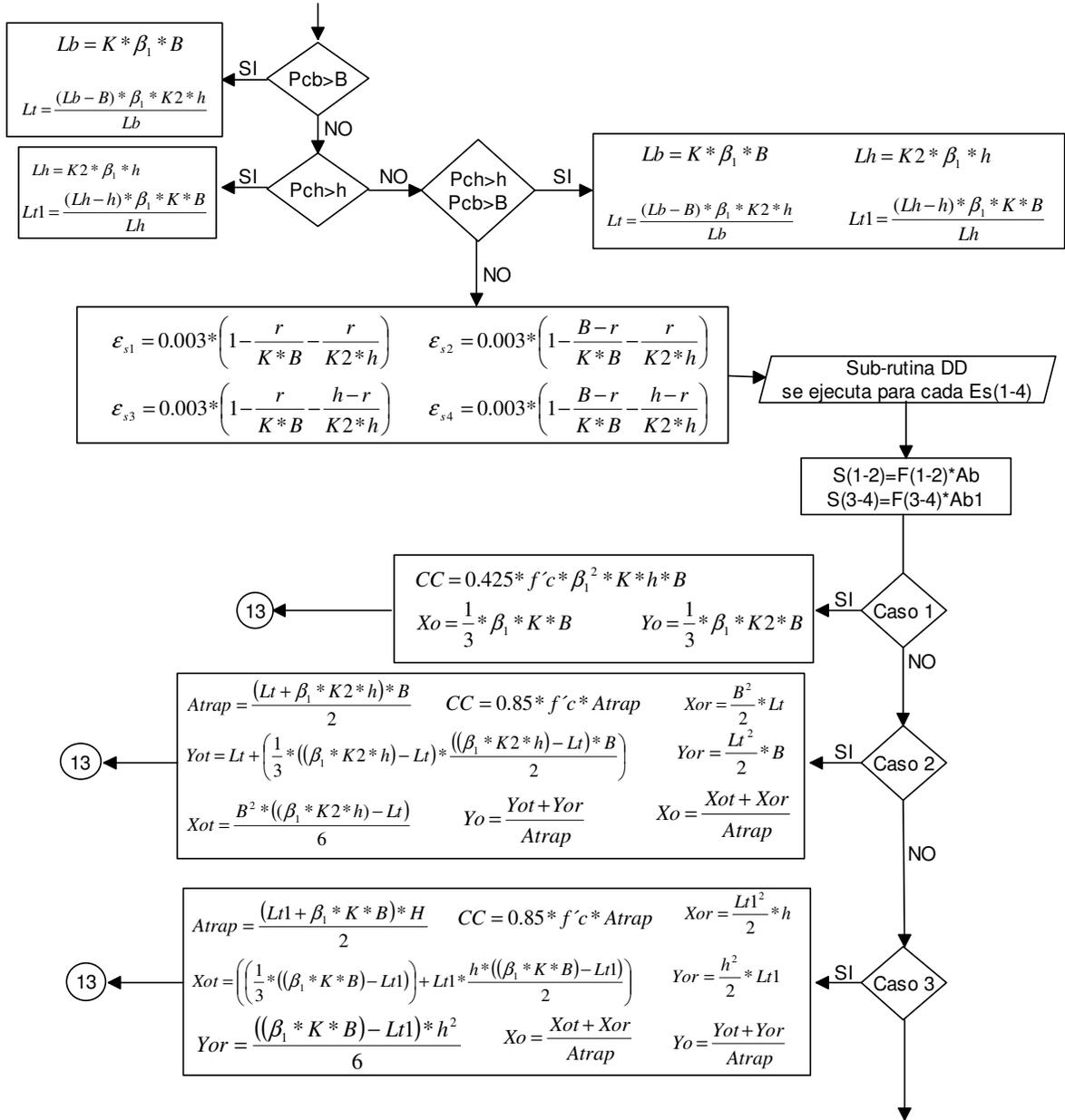
Anexo 3 Diagrama de flujo para el análisis de Columnas.

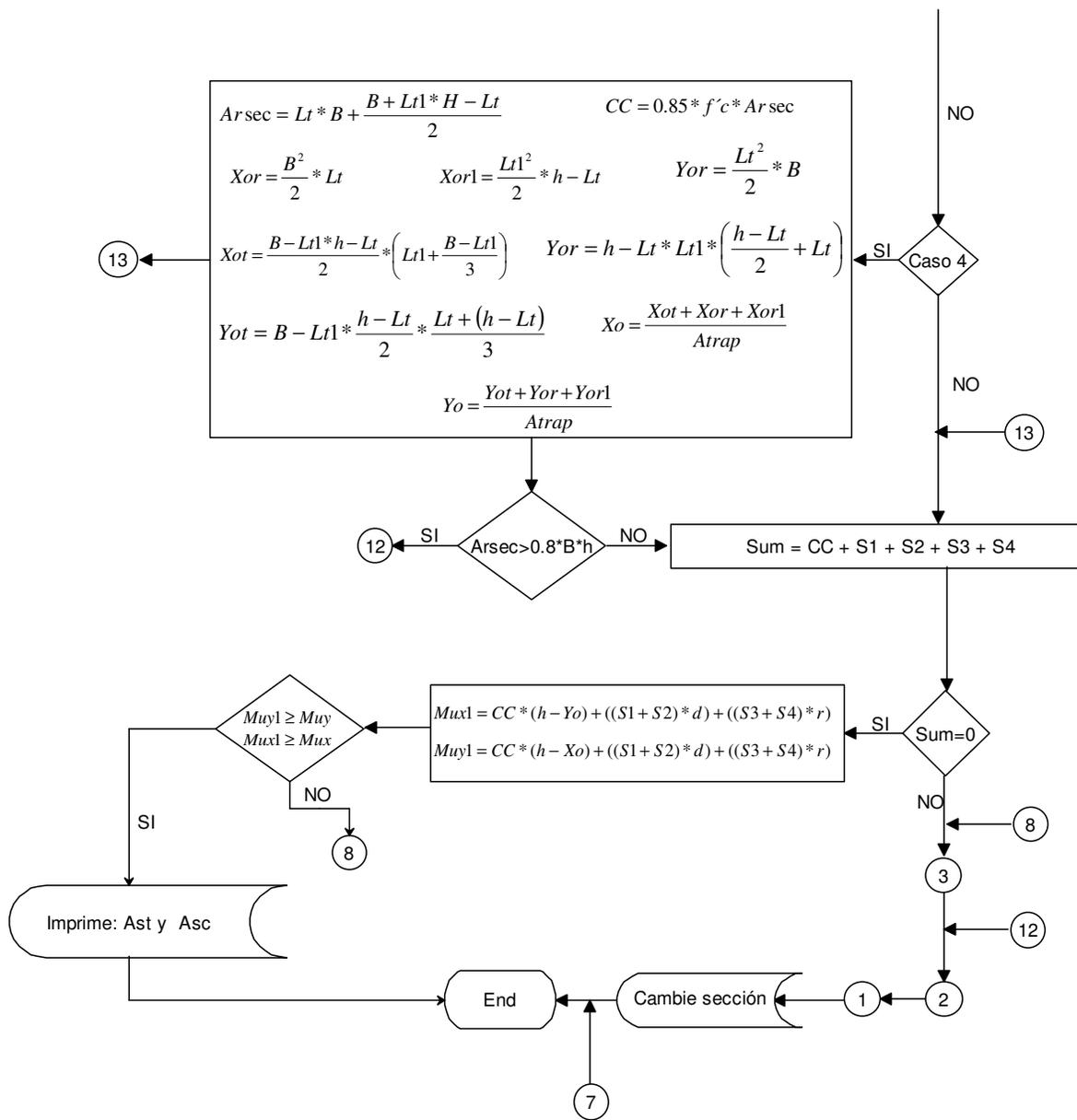




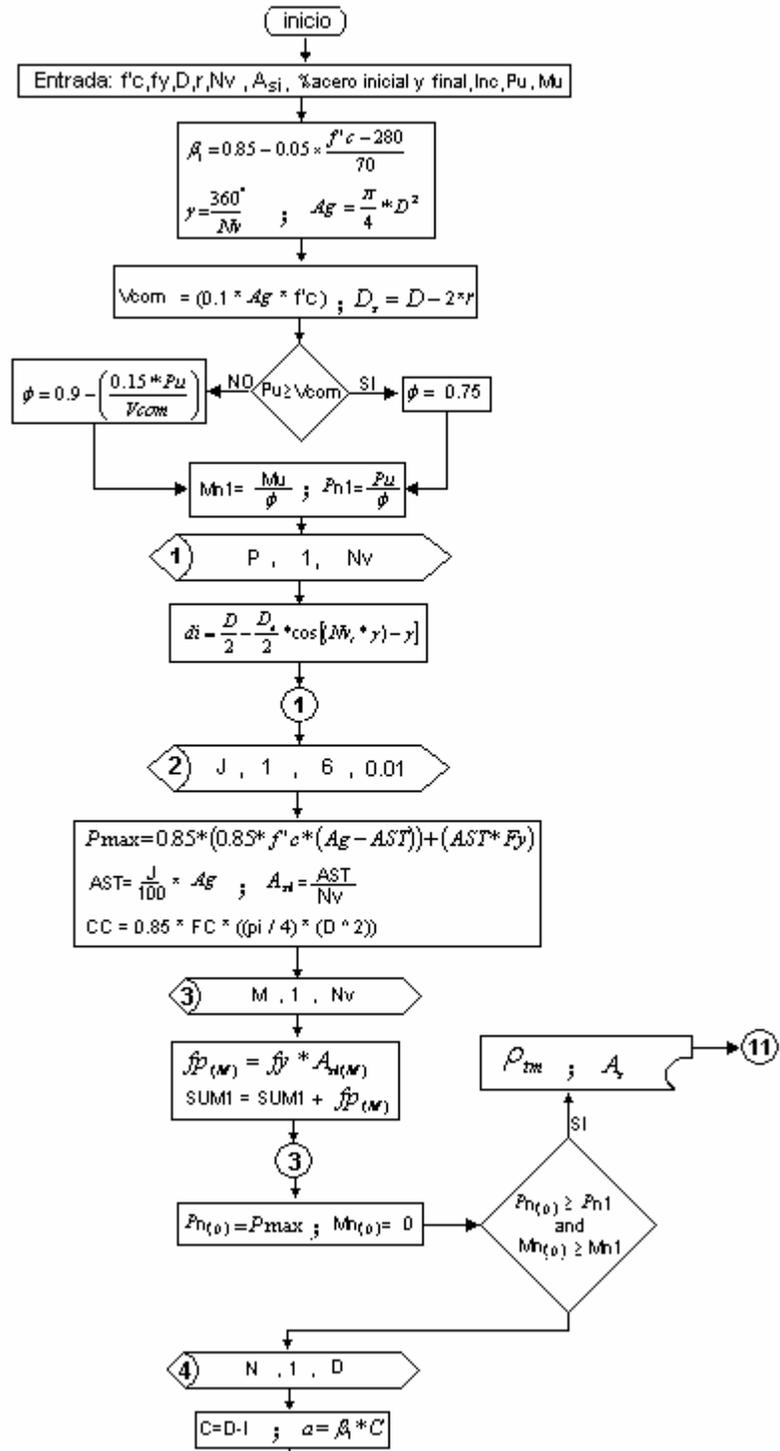
Anexo 4 Diagrama de flujo para diseño a flexión biaxial en vigas de sección rectangular.

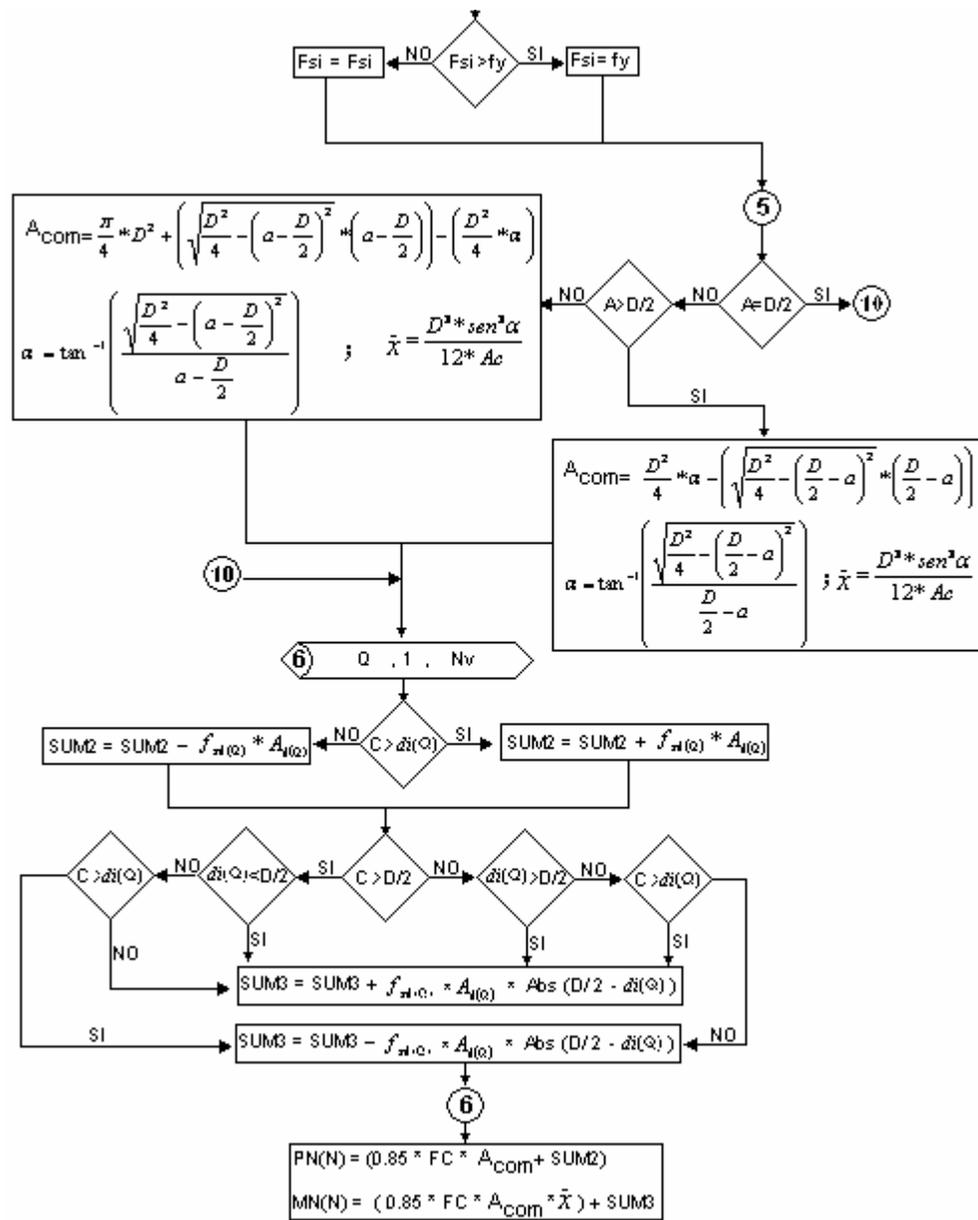


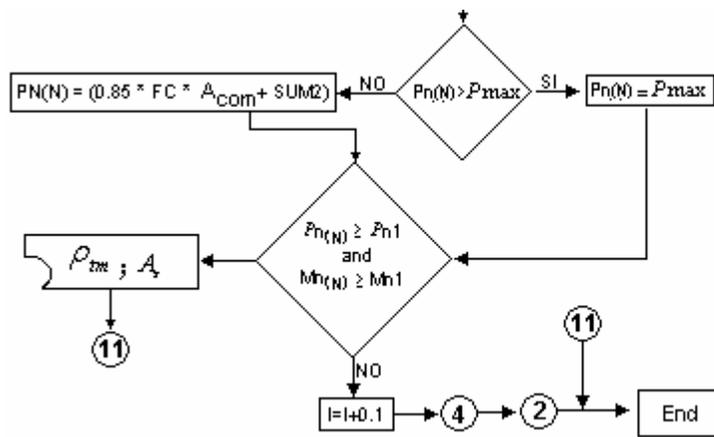




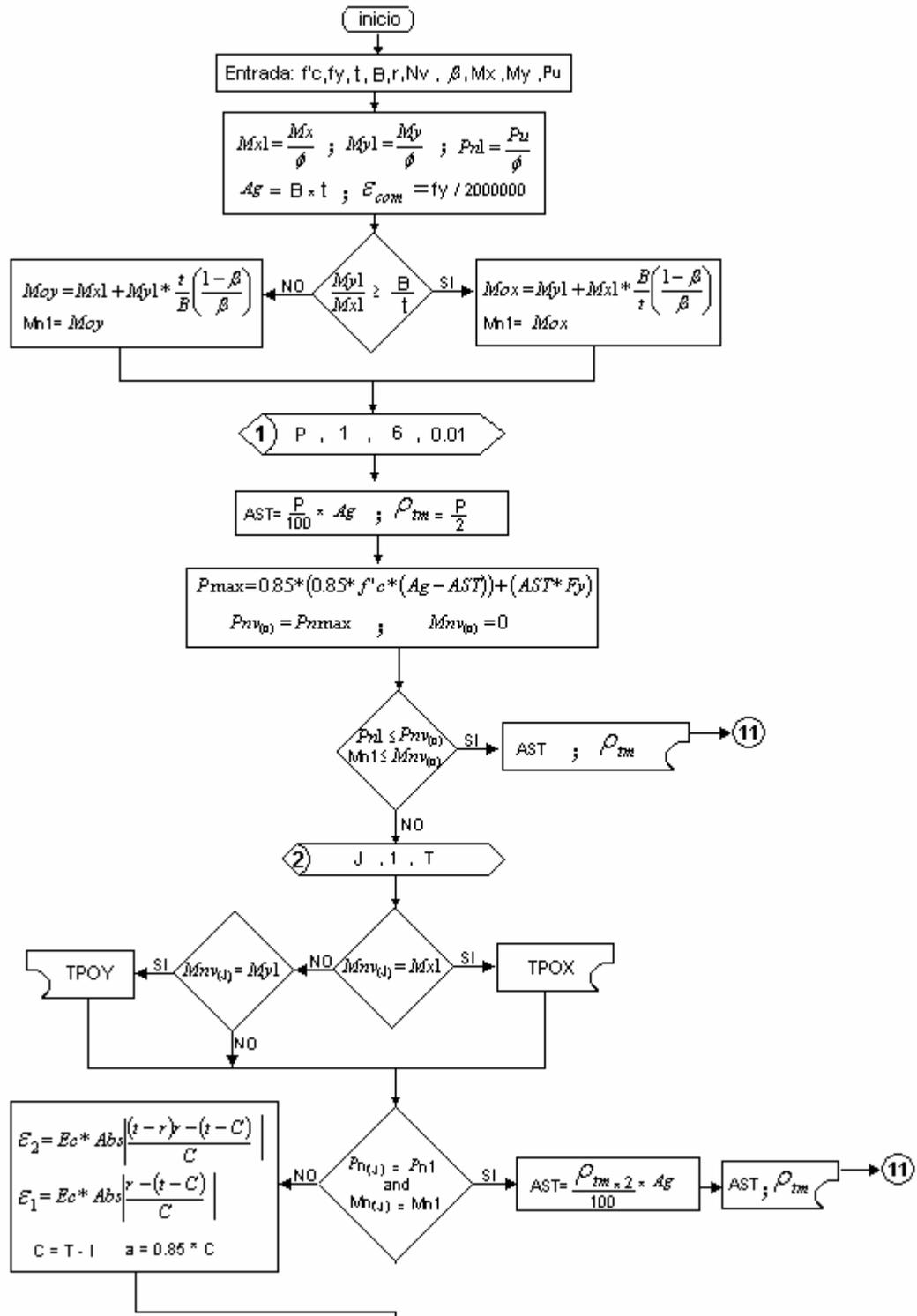
Anexo 5 Diagrama de flujo para el Diseño de columna circular- axial.

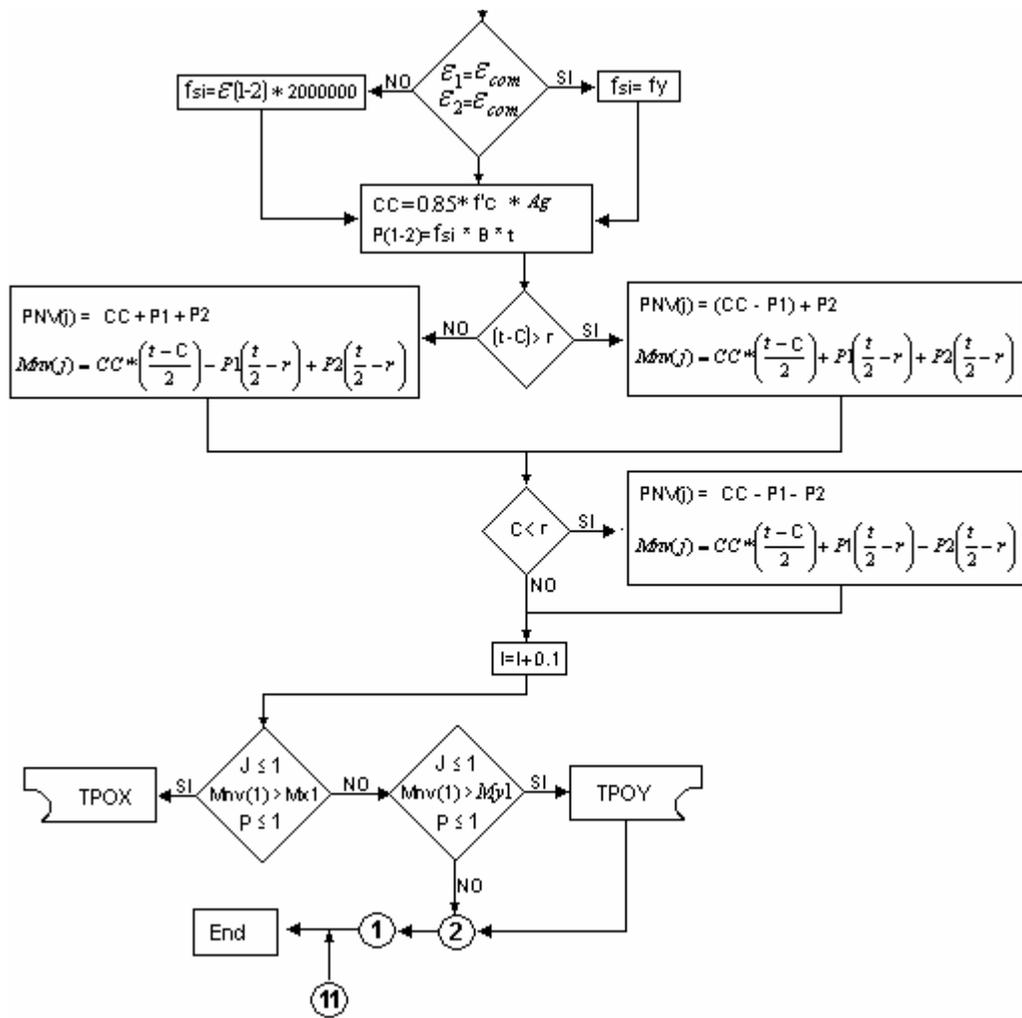




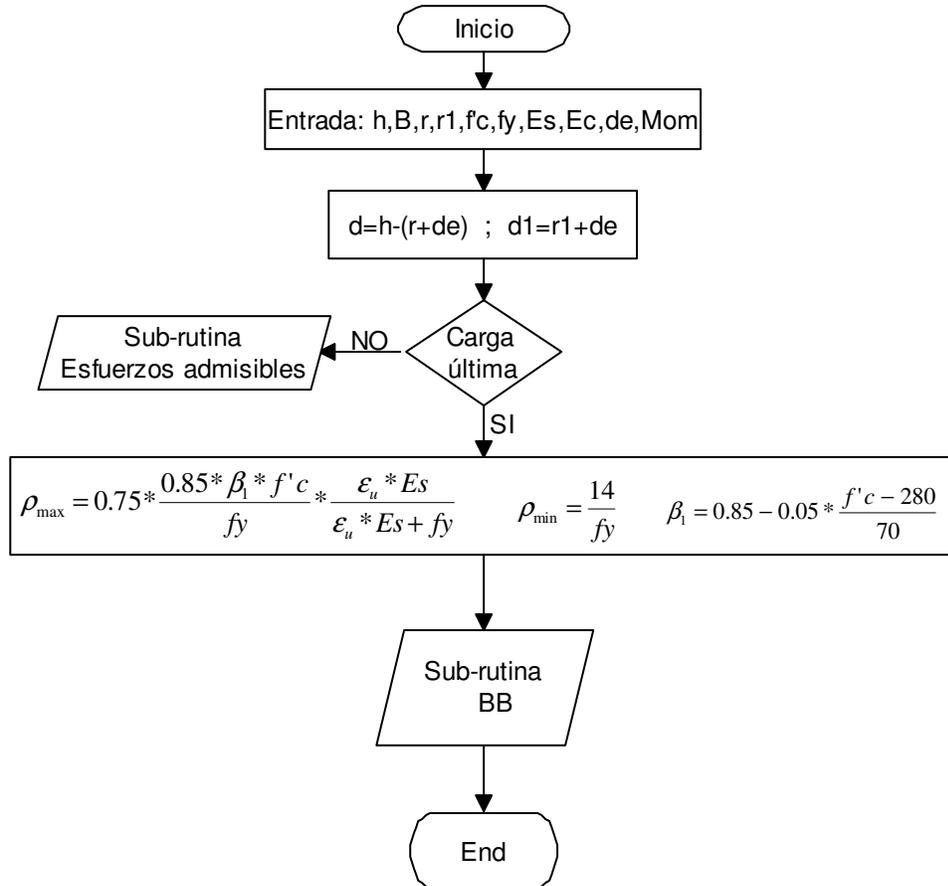


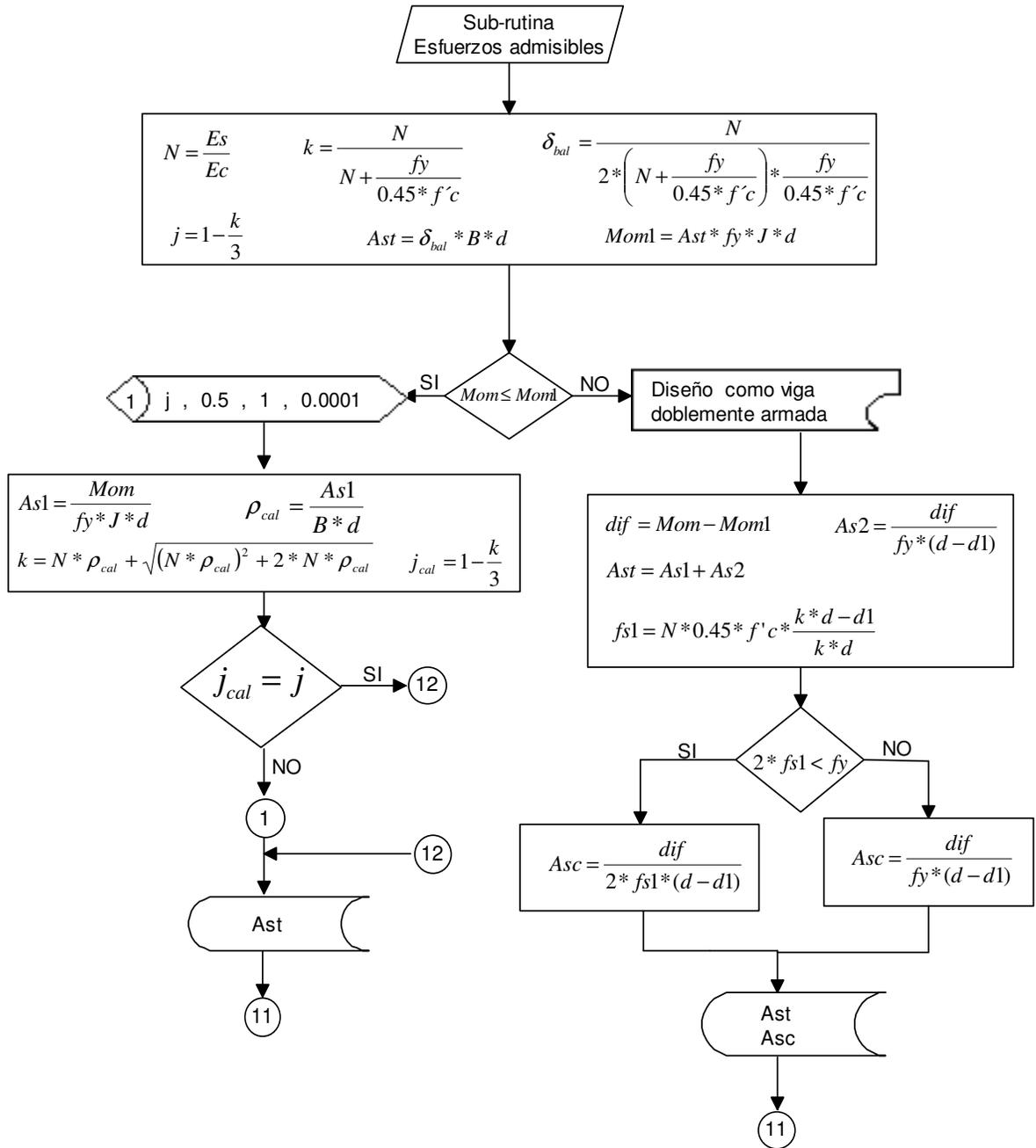
Anexo 6 Diagrama de flujo para el Diseño de columna rectangular – biaxial.

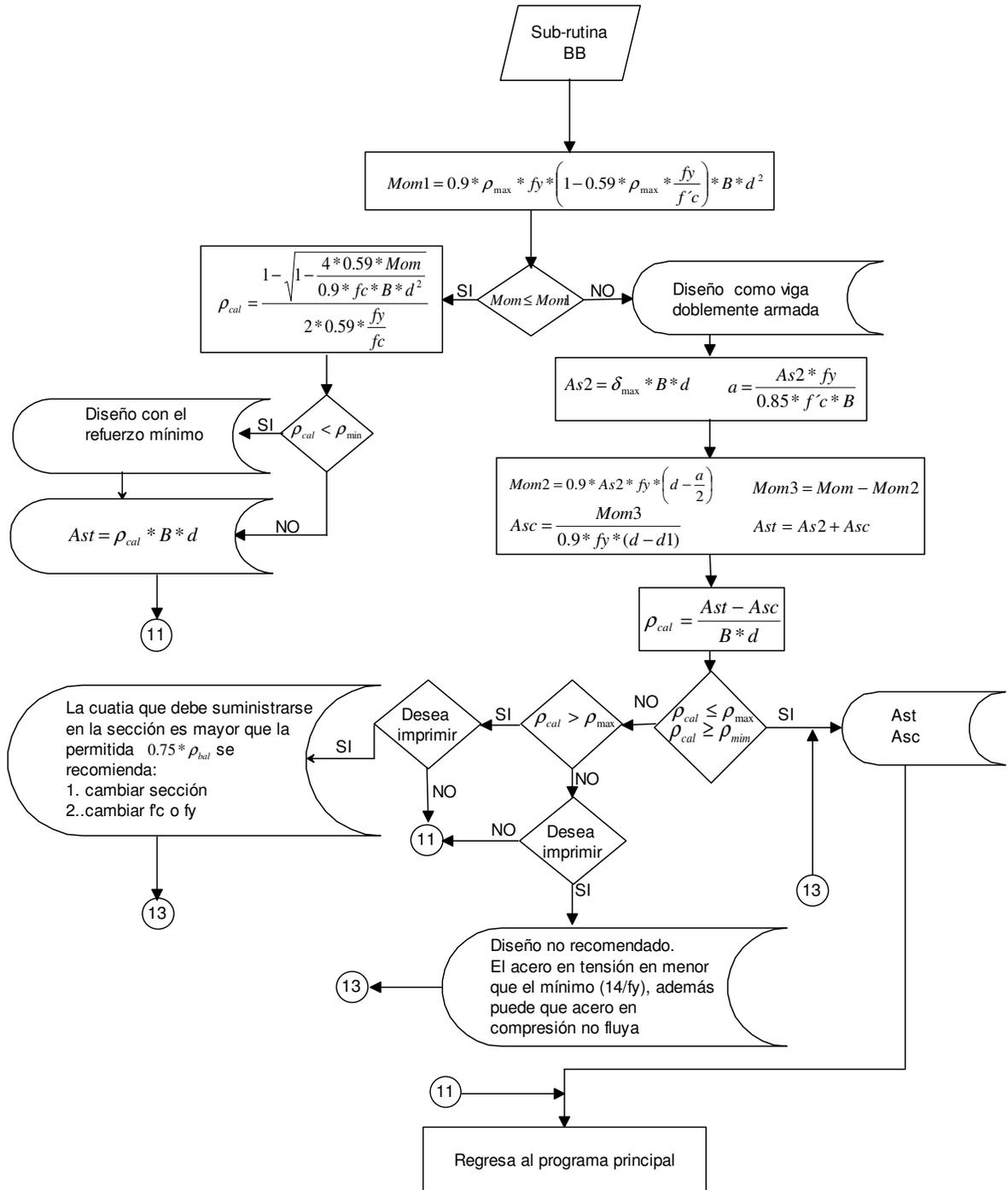




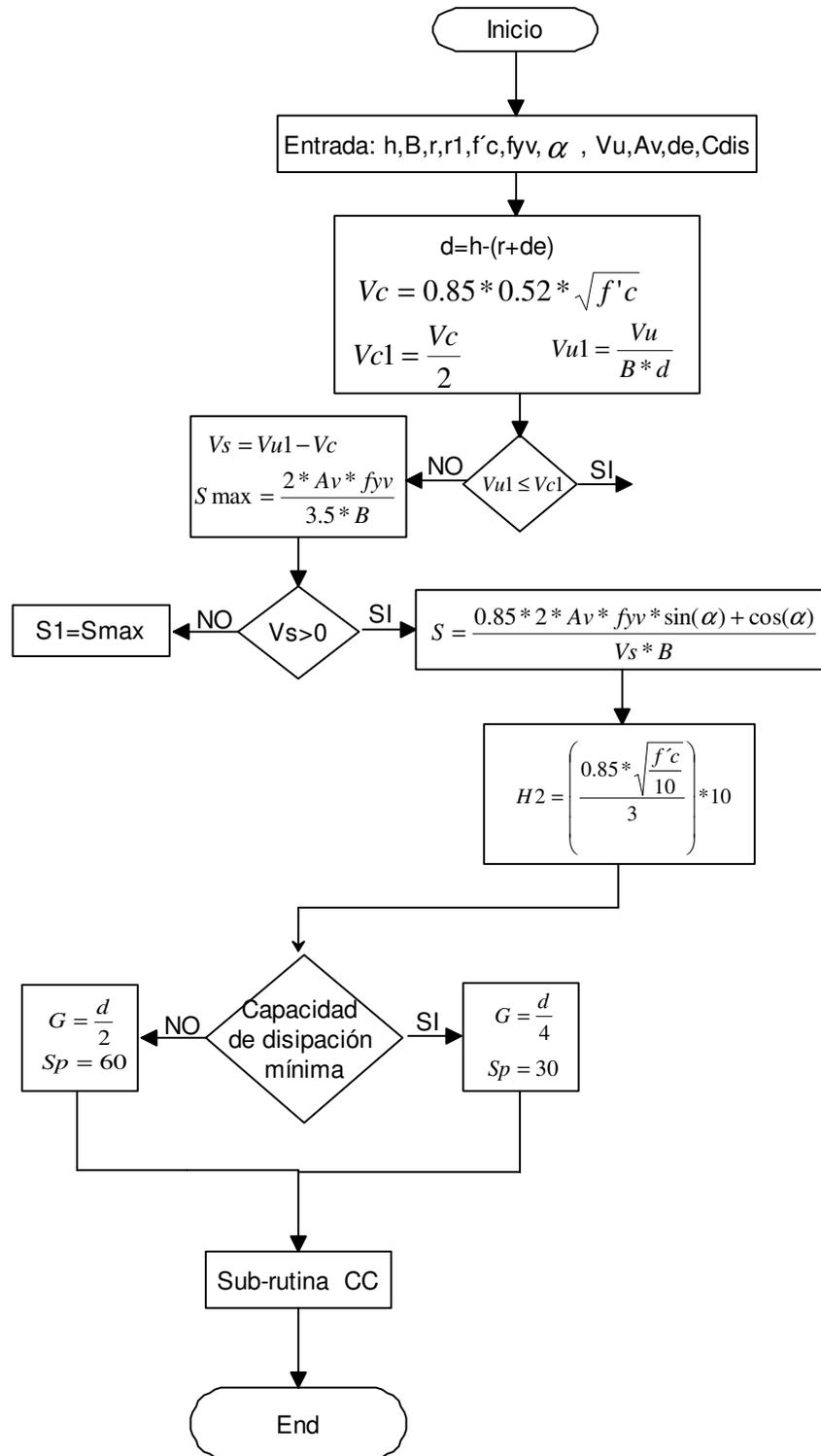
Anexo 7 Diagrama de flujo para el diseño a flexión de vigas de sección rectangular.

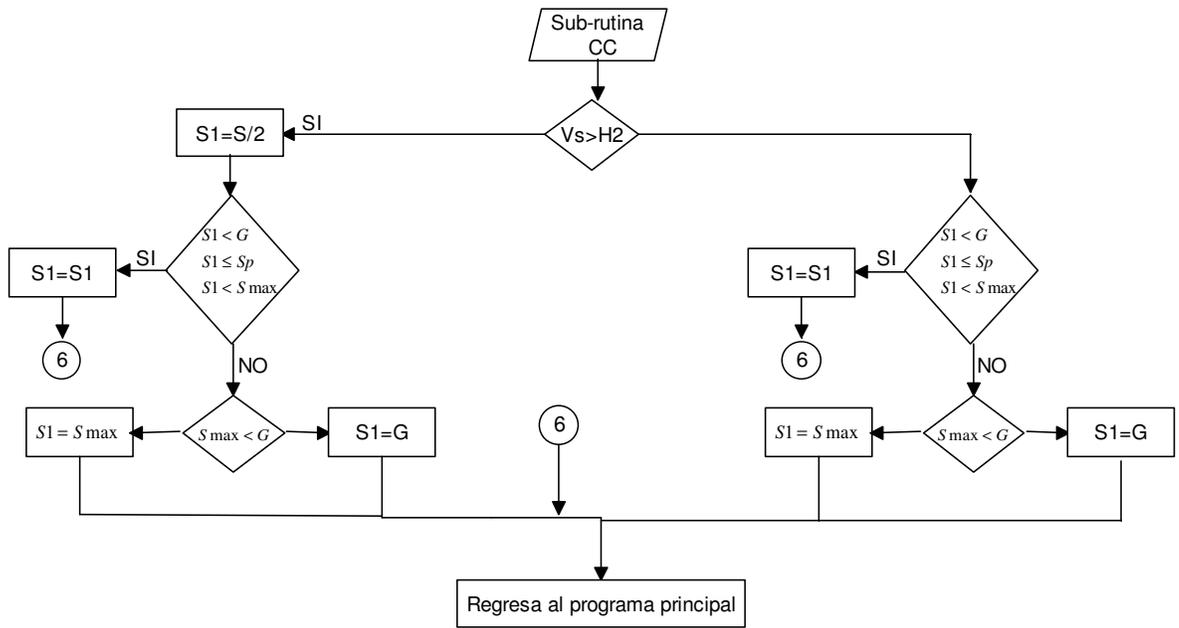




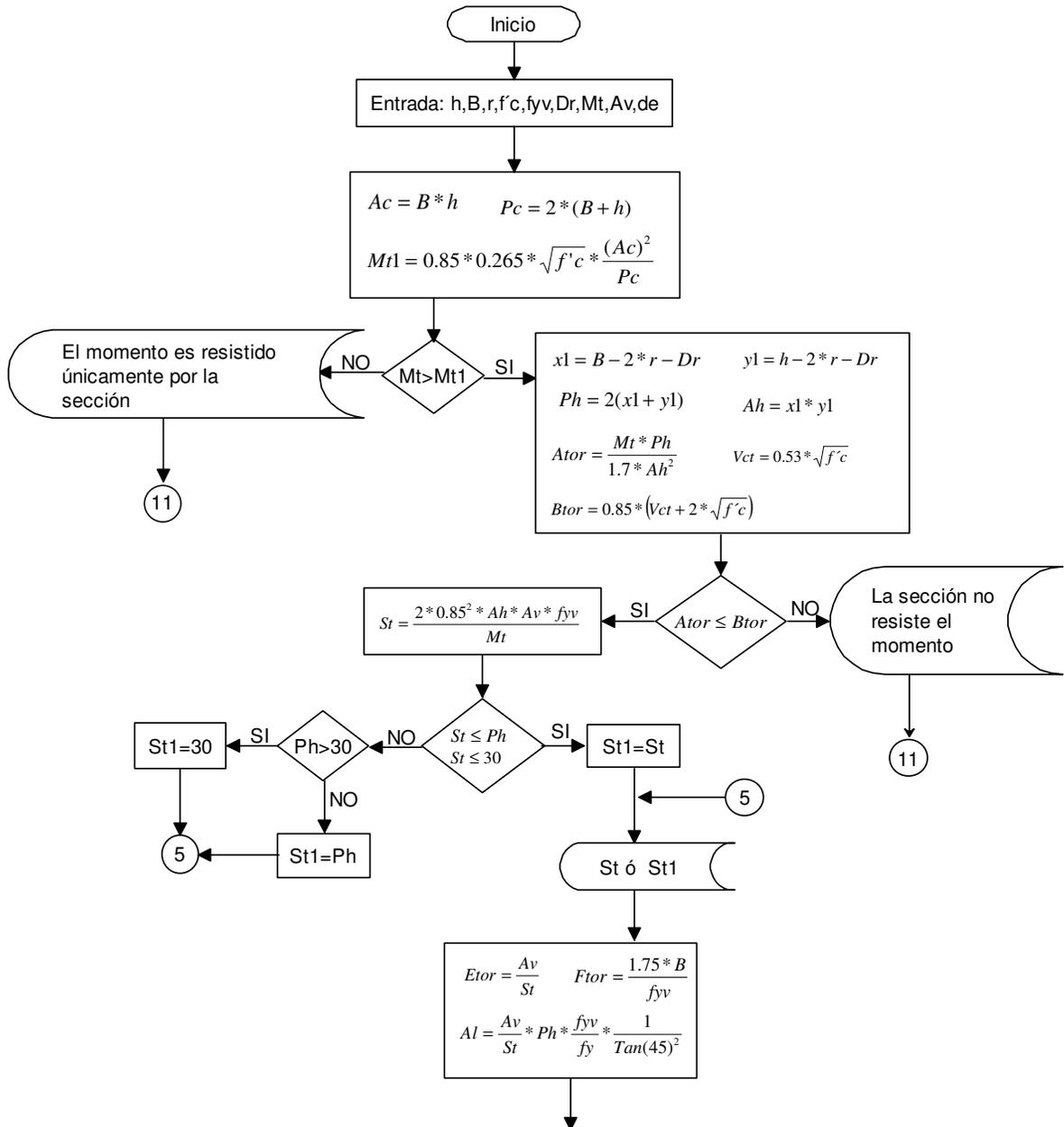


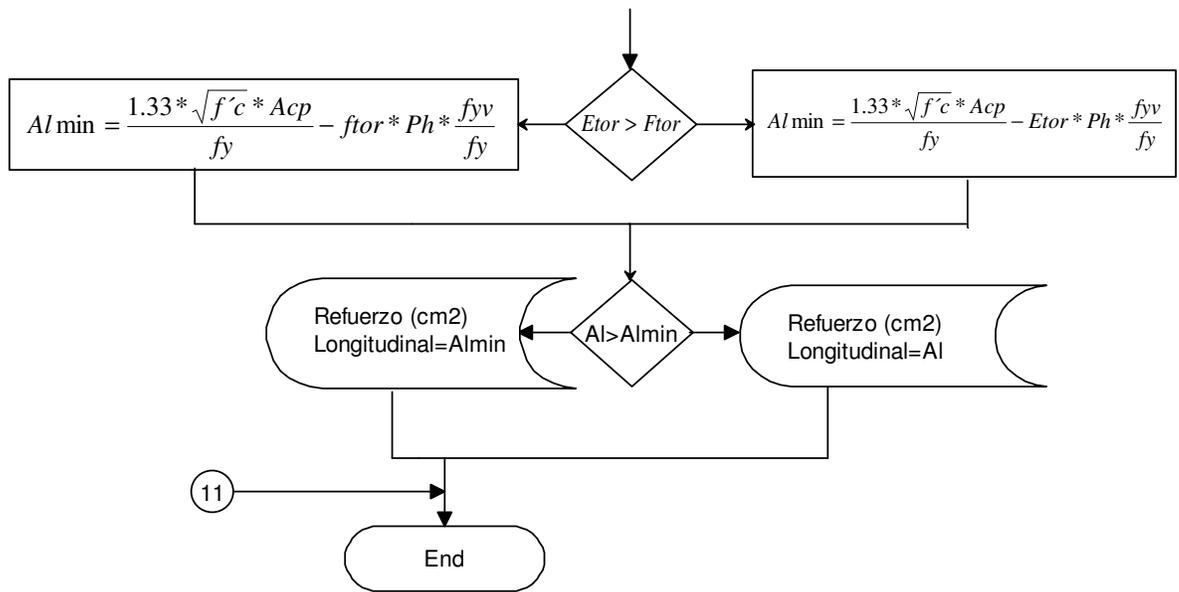
Anexo 8 Diagrama de flujo para el diseño a cortante de vigas de sección rectangular.



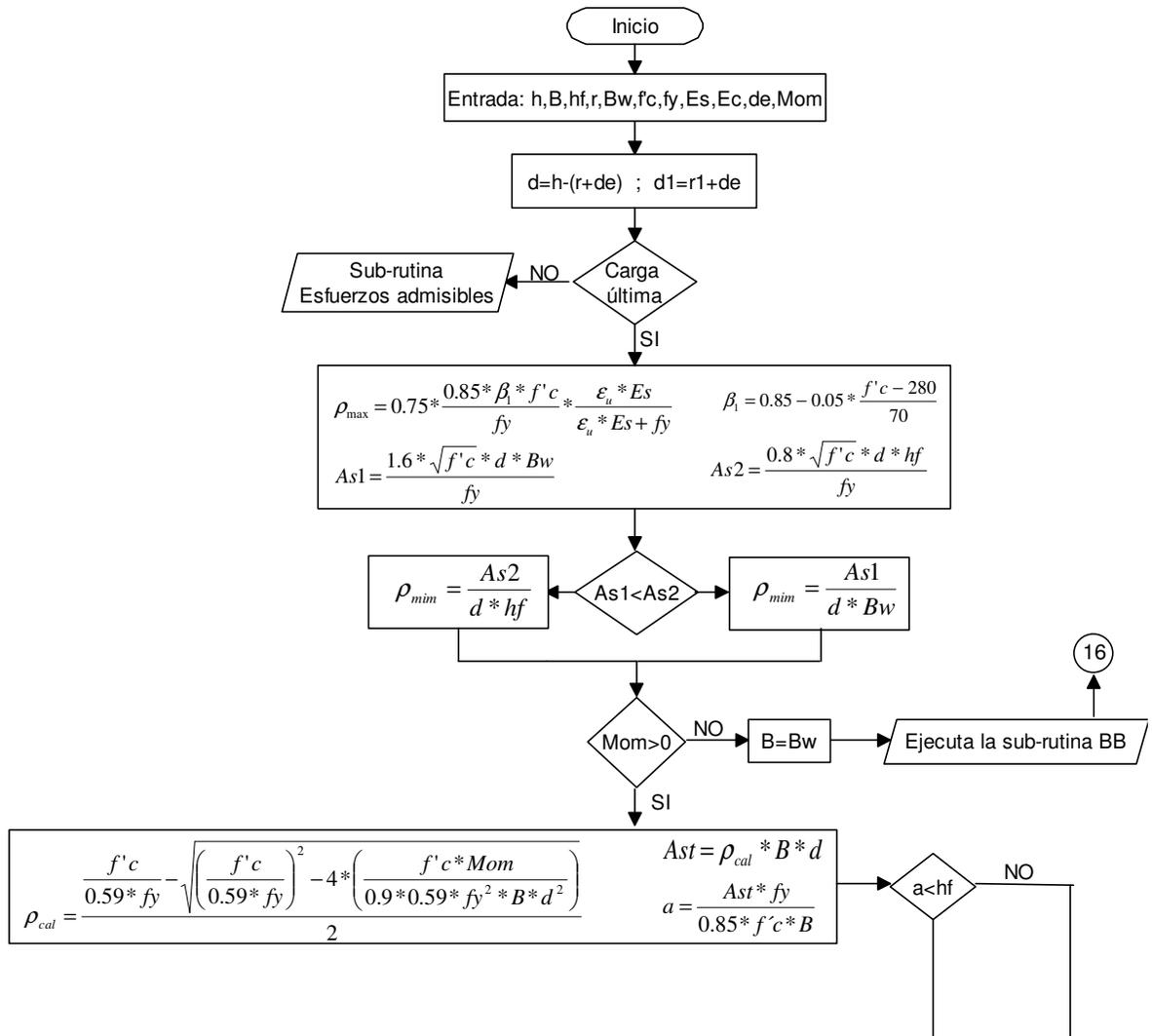


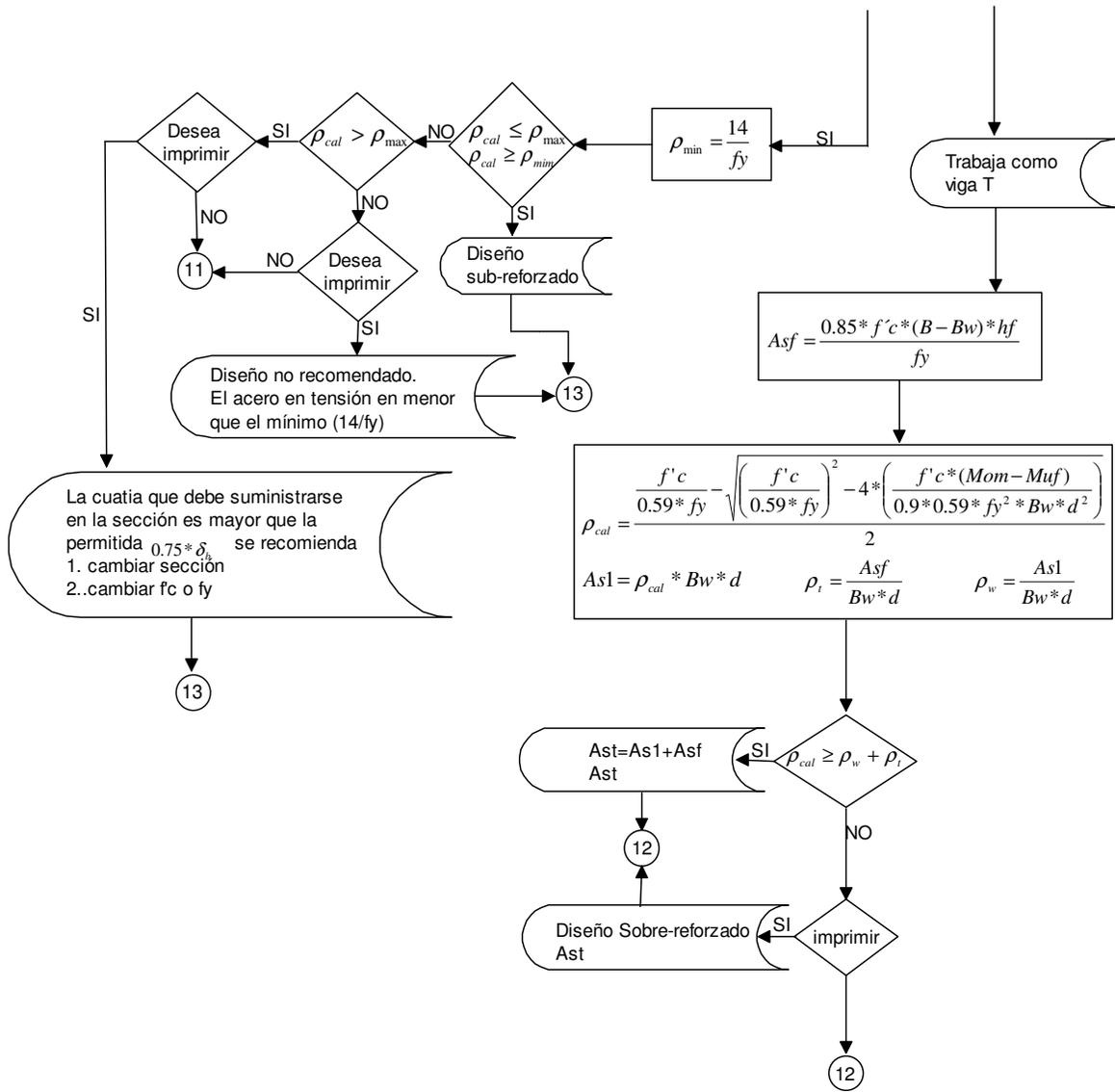
Anexo 9 Diagrama de flujo para el diseño a torsión de vigas de sección rectangular.

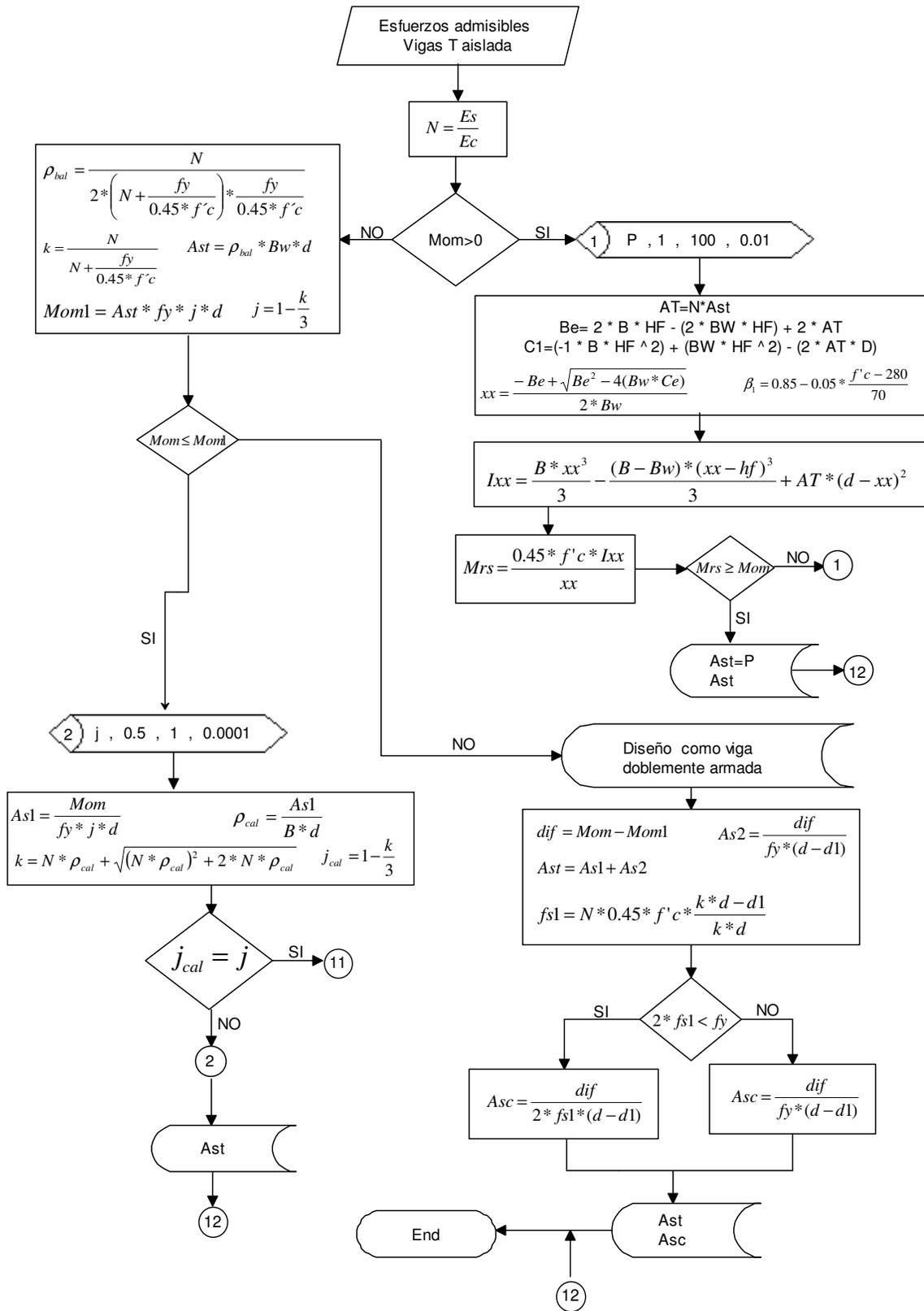




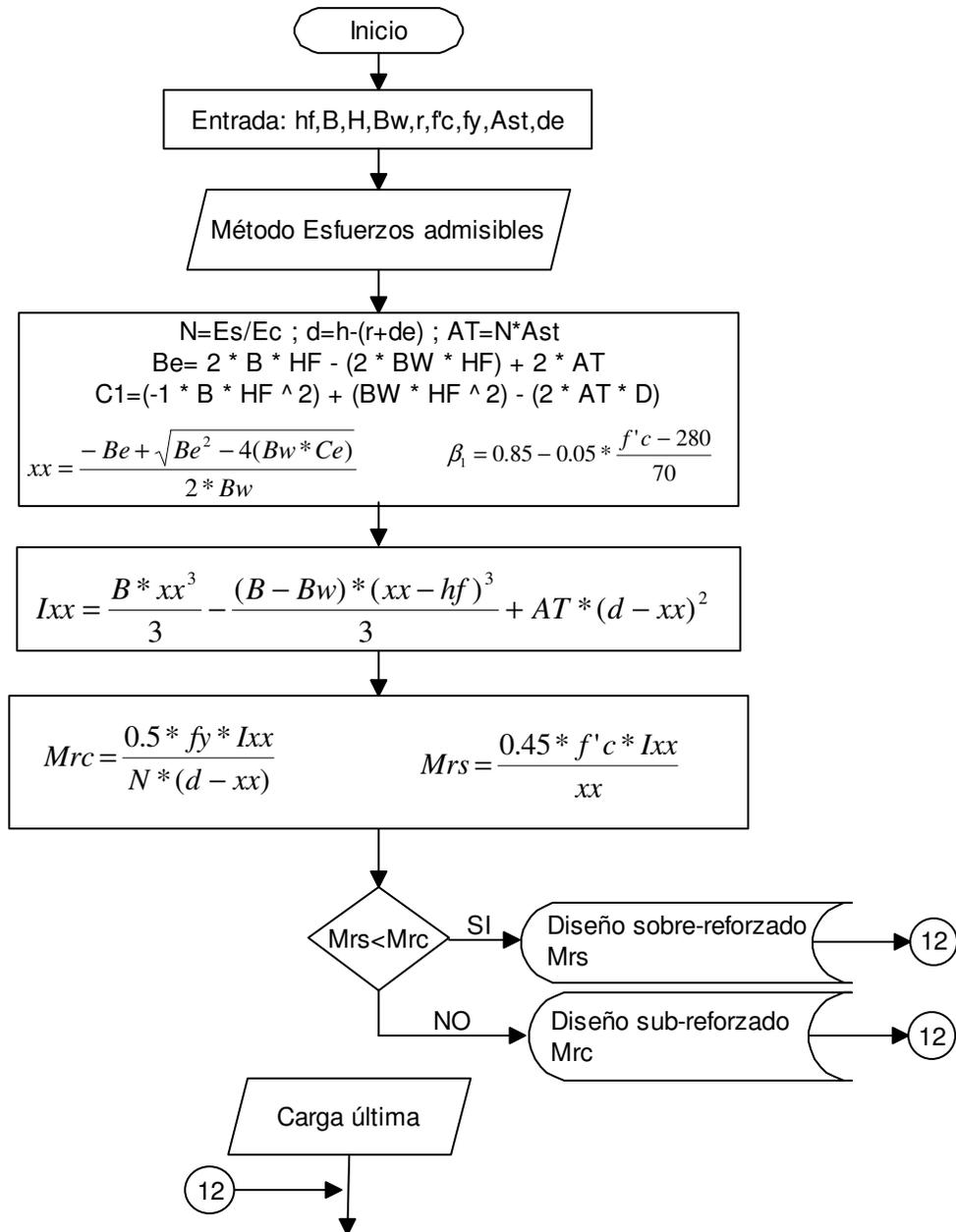
Anexo 10 Diagrama de flujo para el diseño a flexión de vigas de sección T.

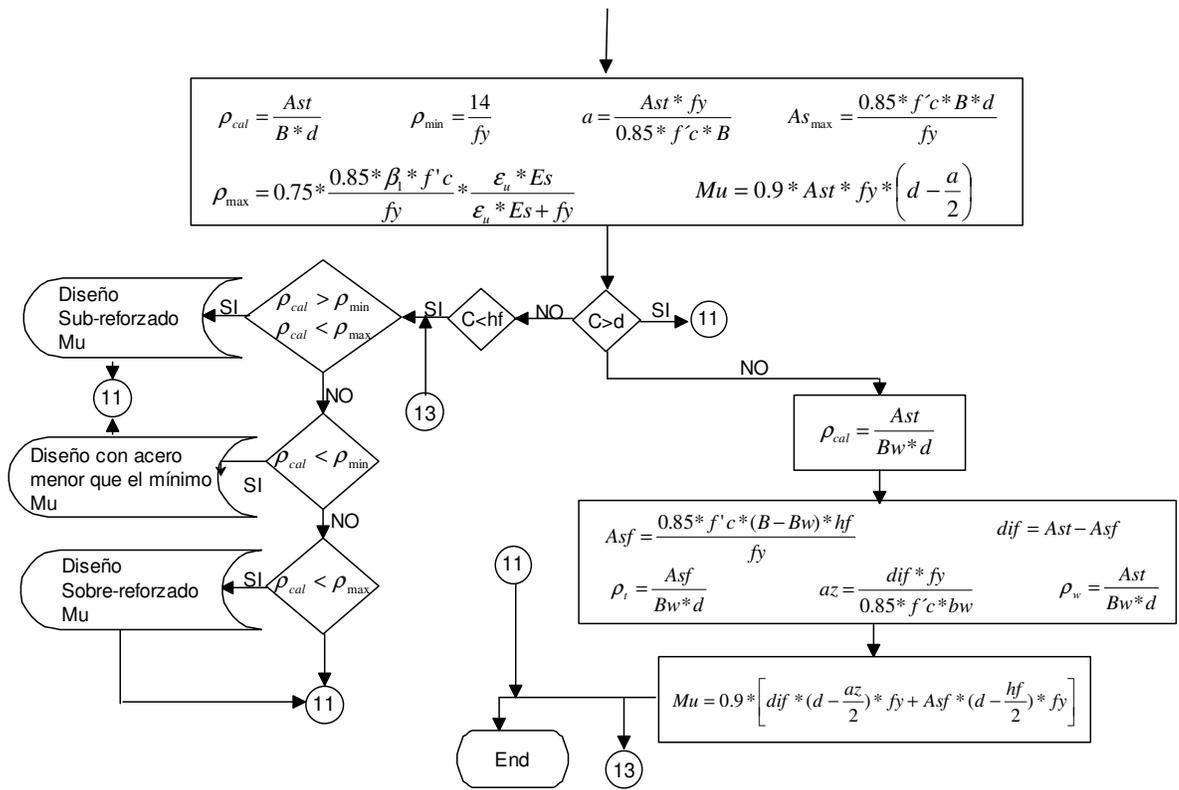






Anexo 11 Diagrama de flujo para el análisis a flexión de vigas de sección T.





Anexo 12 Contenido y creación del archivo de ayuda.

El archivo ayuda contiene información sobre los siguientes temas:

- Ángulo de disposición de los estribos
- Capacidad de Disipación De Energía
- Cargas
- Columnas
- Condiciones de Diseño
- Esfuerzo
- Esfuerzo Cortante
- FLEXION
- Flexión biaxial
- Métodos del contorno de las cargas (Bresler y PCA)
- Módulos de Elasticidad
- Porcentaje de acero en columnas
- REFUERZO
- Refuerzo transversal
- Resistencia a la fluencia (f_y)
- Resistencia nominal del concreto a la compresión (f'_c)
- Resistencia Requerida
- Tipos de Concreto
- Tipos de Diseños
- Tipos de Momentos
- TORSION

Creación del archivo ayuda

El tipo de documento a usar debe estar en el formato RTF (extensión que permite guardar Word)

Para crear títulos, marcadores y palabras claves se selecciona del menú **Insertar, Notas al pie**, el diálogo, selecciona **Marca Personal** y en la caja de texto, escribe alguna de estas claves, según la tarea que quieras realizar así:

Clave/Marca	Descripción
\$	El título a mostrar en el índice
k (minúscula)	La palabra o palabras claves a usar, estas se mostrarán al seleccionar índice. Cada palabra debe estar separada de la siguiente con un punto y coma ";"
#	Nombre del marcador, usado para crear los enlaces (links). Este nombre no debería contener espacios ni símbolos raros y recuerda usar después el mismo estado de mayúsculas y minúsculas.
+	Número de secuencia, en el caso de que se muestren los botones de navegación

Terminado los procesos convenientes se procesa configurando la ayuda con el Help Compiler Workshop (HCW) así:

Una vez terminado y creado el fichero RTF, se crea, configura y compila el proyecto de ayuda, desde el HCW.

Para crear un nuevo proyecto de ayuda, en el HCW, se selecciona New del menú File y elige proyecto de ayuda (Help Project), se escribe el nombre que tendrá el

fichero de ayuda. Para especificar el fichero RTF a usar, se pulsa en el botón **Files...** en el cuadro de diálogo que se muestra, luego se pulsa en **Add...** y selecciona el fichero que acabas de crear o que ya tenías creado en ese formato.

Para mostrar en la ventana los diferentes botones de Buscar, >>, <<, etc. Se pulsa en la solapa **Buttons** y selecciona las casillas pertinentes. Para especificar el tamaño de la ventana, se selecciona la solapa **Position**, se pulsas en el botón **Default positions**, y la ayuda se mostrará en el centro de la pantalla y el tamaño será el habitual.

Finalmente para acceder desde visual Basic a esta ayuda se procede a mapear las claves creadas con # en el fichero RTF. En el HCW pulsando el botón **Map**, seguido del botón **Add**, eventos que visualizan una serie de casillas. En la casilla de arriba se escribe el nombre del tópico (Topic ID), se asocia con un número, para luego escribirlo en la propiedad es HelpContextID de visual Basic.

Anexo 13 Ejemplos.

Ejemplo 1. Eficiencia del acero en compresión.

Propiedades geométricas de la sección

h 35 cm.

b 25 cm.

r 4 cm.

Resistencia de los materiales

f_c 210 kgf/cm²

f_y 4200 kgf/cm²

A	B	C	D	E	F	G	H
Momento (ton.m)	Ast (cm ²)	Asc (cm ²)	Incremento (momento)	Incremento acumulado (momento)	% de eficiencia (F _i *100/B ₁)	% de eficiencia por cada cm ² (F _(i+1) -F _i)	% de acero en compresión frente al de Tracción
11.1	12.1	0		0	0		0.0
11.32	12.1	1	0.22	0.22	1.98	1.98	8.3
11.49	12.1	2	0.17	0.39	3.51	1.53	16.5
11.62	12.1	3	0.13	0.52	4.68	1.17	24.8
11.72	12.1	4	0.1	0.62	5.59	0.90	33.1
11.8	12.1	5	0.08	0.7	6.31	0.72	41.3
11.85	12.1	6	0.05	0.75	6.76	0.45	49.6
11.89	12.1	7	0.04	0.79	7.12	0.36	57.9
11.92	12.1	8	0.03	0.82	7.39	0.27	66.1
11.94	12.1	9	0.02	0.84	7.57	0.18	74.4
11.96	12.1	10	0.02	0.86	7.75	0.18	82.6

Momento (ton.m)	Ast (cm ²)	Asc (cm ²)	Incremento (momento)	Incremento acumulado (momento)	% de eficiencia	% de eficiencia por cada cm ²	% de acero en compresión frente al de Tracción
12.99	15	0		0	0		0.0
13.33	15	1	0.34	0.34	2.62	2.62	6.7
13.62	15	2	0.29	0.63	4.85	2.23	13.3
13.86	15	3	0.24	0.87	6.70	1.85	20.0
14.06	15	4	0.2	1.07	8.24	1.54	26.7
14.22	15	5	0.16	1.23	9.47	1.23	33.3
14.34	15	6	0.12	1.35	10.39	0.92	40.0
14.44	15	7	0.1	1.45	11.16	0.77	46.7
14.51	15	8	0.07	1.52	11.70	0.54	53.3
14.57	15	9	0.06	1.58	12.16	0.46	60.0
14.62	15	10	0.05	1.63	12.55	0.38	66.7
14.65	15	11	0.03	1.66	12.78	0.23	73.3

14.68	15	12	0.03	1.69	13.01	0.23	80.0
14.7	15	13	0.02	1.71	13.16	0.15	86.7
14.72	15	14	0.02	1.73	13.32	0.15	93.3
14.73	15	15	0.01	1.74	13.39	0.08	100.0

Momento (ton.m)	Ast (cm2)	Asc (cm2)	Incremento (momento)	Incremento acumulado (momento)	% de eficiencia	% de eficiencia por cada cm2	% de acero en compresión frente al de Tracción
15.53	20	0		0	0		0.0
16.12	20	1	0.59	0.59	3.80	3.80	5.0
16.64	20	2	0.52	1.11	7.15	3.35	10.0
17.1	20	3	0.46	1.57	10.11	2.96	15.0
17.5	20	4	0.4	1.97	12.69	2.58	20.0
17.85	20	5	0.35	2.32	14.94	2.25	25.0
18.15	20	6	0.3	2.62	16.87	1.93	30.0
18.4	20	7	0.25	2.87	18.48	1.61	35.0
18.61	20	8	0.21	3.08	19.83	1.35	40.0
18.78	20	9	0.17	3.25	20.93	1.09	45.0
18.92	20	10	0.14	3.39	21.83	0.90	50.0
19.04	20	11	0.12	3.51	22.60	0.77	55.0
19.13	20	12	0.09	3.6	23.18	0.58	60.0

Ejemplo

\$ acero por cm2 5000

Incrementar el momento resistente de la sección en 0.89 Ton.m

Por encima del límite recomendado					Valor Porcentual
Puntos	momento	Diferencia	Asc	Costo	
Punto 6	18.15	0.89	5	25000	250
Punto 11	19.04				
Dentro del intervalo recomendado					
Puntos	momento	Diferencia	Asc	Costo	
Punto 1	16.12	0.98	2	10000	
Punto 3	17.1				

Ejemplo 2. Relación Ast vs. área efectiva

Resistencia de los materiales

f'c 210 kgf/cm²

fy 4200 kgf/cm²

Predomina el agregado de origen ígneo

Alto (cm.)	Ancho (cm.)	Recubrim. (cm.)	Área Efectiva (B*D) (cm ²)	Ast (cm ²)	% Ast Efectiva
30	30	4.64	760.8	4.59	0.60
35	35	4.64	1062.6	6.41	
40	40	4.64	1414.4	8.53	
35	25	4.64	759	4.58	

Predomina el agregado de origen metamórfico

0.60 - 0.68

30	30	4.64	760.8	5.16	0.68
35	35	4.64	1062.6	7.20	
40	40	4.64	1414.4	9.58	
35	25	4.64	759	5.14	

Predomina el agregado de origen desconocido

0.68 - 0.76

30	30	4.64	760.8	5.80	0.76
35	35	4.64	1062.6	8.10	
40	40	4.64	1414.4	10.78	
35	25	4.64	759	5.78	

Predomina el agregado de origen sedimentario

0.76 en adelante

Resistencia de los materiales

f'c 210 kgf/cm²

fy 2800 kgf/cm²

Predomina el agregado de origen ígneo

Alto (cm)	Ancho (cm)	Recubrim. (cm)	Area efectiva (B*D) (cm ²)	Ast (cm ²)	% Ast Efectiva
30	30	4.64	760.8	9.16	1.20
35	35	4.64	1062.6	12.79	
40	40	4.64	1414.4	17.03	
35	25	4.64	759	9.14	

Predomina el agregado de origen metamórfico

1.20 - 1.33

30	30	4.64	760.8	10.130	1.33
35	35	4.64	1062.6	14.148	

40	40	4.64	1414.4	18.833	
35	25	4.64	759	10.106	

Predomina el agregado de origen desconocido

1.33 - 1.47

30	30	4.64	760.8	11.18	1.47
35	35	4.64	1062.6	15.61	
40	40	4.64	1414.4	20.78	
35	25	4.64	759	11.15	

Predomina el agregado de origen sedimentario

1.47 en adelante

Resistencia de los materiales

f'c 210 kgf/cm²

fy 2400 kgf/cm²

Predomina el agregado de origen ígneo

Alto (cm.)	Ancho (cm.)	Recubrimiento (cm.)	Área efectiva (B*D) (cm ²)	Ast (cm ²)	% Ast Efectiva
30	30	4.64	760.8	11.79	1.55
35	35	4.64	1062.6	16.46	
40	40	4.64	1414.4	21.91	
35	25	4.64	759	11.76	

Predomina el agregado de origen metamórfico

1.55 - 1.70

30	30	4.64	760.8	12.960	1.70
35	35	4.64	1062.6	18.101	
40	40	4.64	1414.4	24.094	
35	25	4.64	759	12.929	

Predomina el agregado de origen desconocido

1.70 - 1.87

30	30	4.64	760.8	14.196	1.87
35	35	4.64	1062.6	19.827	
40	40	4.64	1414.4	26.392	
35	25	4.64	759	14.162	

Predomina el agregado de origen sedimentario

1.87 en adelante

Ejemplo 3.

Propiedades geométricas de la sección

b	35	(cm.)
h	35	(cm.)
r	4	(cm.)

Resistencia de los materiales

fy	4200	(kgf/cm ²)
f'c	210	(kgf/cm ²)
Acero en tracción	=	4.1 cm ²
Acero en Compresión	=	1.42 cm ²

Ígneo	
Momento	f'c
2.419	210

Metamórfico	
Momento	f'c
2.419	280

Desconocido	
Momento	f'c
2.419	400

Sedimentario	
Momento	f'c
2.419	500

Ejemplo 4.

Propiedades geométricas de la sección

b	60	(cm.)
bw	20	(cm.)
h	40	(cm.)
r	4	(cm.)

Resistencia de los materiales

fy	4200	(kgf/cm ²)
f'c	210	(kgf/cm ²)

Espesor de ala hf (cm.)	Momento (ASD)	Momento (LRFD)	E.N. (ASD)	E.N. (LRFD)
10	10.48	19.5	11.96	6.27
15	10.43	19.5	12.07	6.27
20	10.11	19.5	12.95	6.27

Ejemplo 5. Análisis de costos.

Propiedades geométricas de la sección

h	50	(cm.)
b	60	(cm.)
bw	25	(cm.)
hf	15	(cm.)
r	5	

Resistencia de los materiales

fy	4200	(kgf/cm ²)
Ast	10	(cm ²)

f'c (kgf/cm ²)	Momento (Ton.m) (ASD)	Momento (Ton.m) (LRFD)	Costo (\$) en miles
210	8.64	16.03	
220	8.656	16.06	8
230	8.671	16.09	16
240	8.686	16.12	24
250	8.701	16.145	32
260	8.715	16.169	40
270	8.729	16.192	48
280	8.743	16.212	56
290	8.757	16.231	64
300	8.77	16.25	72

Por metro lineal

Precio x m3 concreto 210 (kgf/cm²) \$ 298,000

Costo Incremento del parámetro f'c en 10 (kgf/cm²) \$ 8,000

Costo Incremento altura de la sección en 1 cm. \$ 745

Propiedades geométricas de la sección

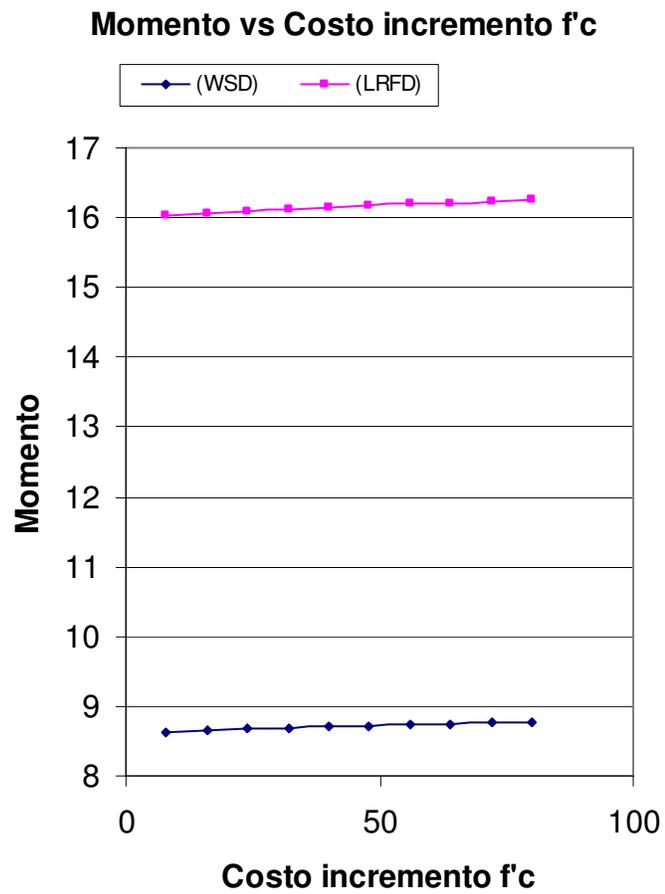
b	60	(cm.)
bw	25	(cm.)
hf	15	(cm.)
r	5	(cm.)

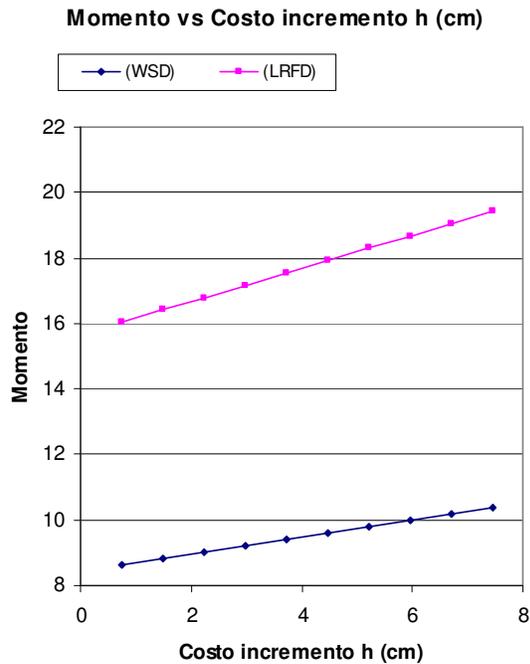
Resistencia de los materiales

f'c	210	(kgf/cm ²)
fy	4200	(kgf/cm ²)
Ast	10	(cm ²)

Altura h (cm.)	Momento (Ton.m) (ASD)	Momento (Ton.m) (LRFD)	Costo (\$) en miles
50	8.64	16.03	
51	8.83	16.405	0.745
52	9.02	16.783	1.49

53	9.213	17.161	2.235
54	9.405	17.539	2.98
55	9.598	17.917	3.725
56	9.792	18.295	4.47
57	9.987	18.673	5.215
58	10.182	19.051	5.96
59	10.378	19.429	6.705





Anexo 14 Fórmula de control para la posición del eje neutro (Vigas Rectangulares)

$$A_{st} = \frac{3 \cdot A_{sc} \cdot E_s \cdot (C - r) + 850 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot B \cdot C^2}{1000 \cdot f_y \cdot C}$$

Donde:

A_{st} = Área de acero en tracción (cm²).

A_{sc} = Área de acero en compresión (cm²).

E_s = Módulo de elasticidad del acero (Kgf/cm²).

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²).

f_y = Resistencia a la fluencia del acero (kgf/cm²).

B = Ancho de la sección (cm.).

C = $(C = (d - 0.1)$ Posición del eje neutro (cm.)

d = Peralte efectivo (cm.)

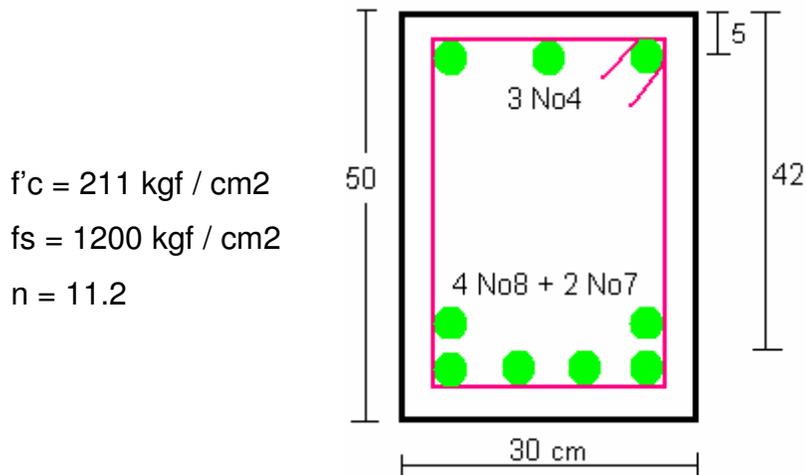
Anexo 15 Ejemplos de verificación.

Revisión viga rectangular Método de esfuerzos admisibles (ASD).

Tomado del libro Estructuras de Concreto I, de Jorge I. Segura Franco, página 63 – 64.

Revisar el diseño a flexión para momento máximo en el centro de la luz de 8 metros de la viga simplemente apoyada sometida a una carga uniforme.

La sección y los materiales respectivos son los siguientes:



1). Obtención de la sección homogénea:

$$At = nAs = 11.2 \cdot (4 \cdot 510 + 2 \cdot 387) = 31517 \text{ mm}^2$$

$$A't = (2n - 1)A's = 21.4 \cdot 3 \cdot 129 = 8282 \text{ mm}^2$$

Obtención de x :

$$b \frac{x^2}{2} + A't(x - d') = At(d - x)$$

$$300 \frac{x^2}{2} + 8282 \cdot (x - 50) = 31517 \cdot (420 - x)$$

$$x^2 + 265.3x - 91008 = 0$$

$$x = 197 \text{ mm} \quad d - x = 223 \text{ mm} \quad x - d' = 147 \text{ mm}$$

Momento de inercia en Cm4:

$$I_{x-x} = \frac{bx^3}{3} + I_{A't} + A't(x-d')^2 + I_{At} + At(d-x)^2$$

$$I_{x-x} = \frac{30 \cdot 19.7^3}{3} + 21.4 \cdot 3 \frac{\pi \cdot 1.27^4}{64} + 82.82 \cdot 14.7^2 + 11.2 \cdot 4 \frac{\pi \cdot 2.54^4}{64} +$$

$$11.2 \cdot 2 \frac{\pi \cdot 2.22^4}{64} + 315.17 \cdot 22.3^2$$

$$I_{x-x} = 251208 \text{ cm}^4$$

2). Momentos resistentes:

Momento resistente admisible por compresión:

$$M_c = \frac{f_c \cdot I_{x-x}}{x} = \frac{9500 \cdot 0.002512}{0.197} = 121.14 \text{ kN} \cdot \text{m} = 12.11 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Momento resistente por acero a la tracción:

$$M_s = \frac{f_s \cdot I_{x-x}}{n(d-x)} = \frac{120000 \cdot 0.002512}{11.2 \cdot 0.223} = 120.69 \text{ kN} \cdot \text{m} = 12.07 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Momento resistente admisible de la sección:

12.07 ton · m

Diseño sub-reforzado.

A continuación se muestran los resultados de momento resistente proporcionados por el software de manera gráfica, en donde se presentan los valores de la sección, peralte efectivo, momento de inercia, posición del eje neutro y el momento resistente tanto del concreto como del acero.

Finalmente, el momento resistente admisible de la sección determinado mediante el software, es el momento proporcionado por el acero en tracción igual a **12.062 Ton.m**, estableciendo que la sección se encuentra sub-reforzada.

ANÁLISIS VIGA RECTANGULAR

Propiedades mecánicas

Propiedades del Concreto

f'c 211 [Kg/cm²]

Origen del Agregado

Igneo.
 Metamórfico.
 Sedimentario.
 Desconocido.

Ec 181142.20 [Kg/cm²]

Propiedades del Acero

fy 2400 [Kg/cm²]

Es 2000000 [Kg/cm²]

Refuerzo Transversal

No. barra No 2
Diametro 0.64 [cm]

TMN

TMN 3/8"
Diametro 0.95 [cm]

Sección

h 50 [cm]
b 30 [cm]
r 4.2 [cm]
r' 4.4 [cm]

Ref. Longitudinal

As 28.14 cm²
As' 3.87 cm²

Momento resistente (ASD)

12.062 [Ton.m]

MRS 12.08 Ton.m
Ixx 249306.6 cm⁴

(LRFD)

22.3 [Ton.m]

P_{bal} 0.0484
ε_s 0.0012
F_s 2400

Graficar

Sección M vs. As

Detalle

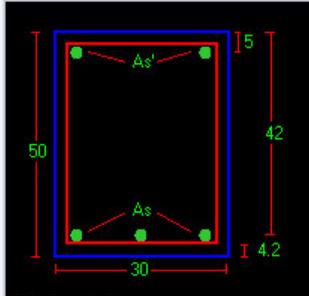


Grafico de fuerzas

METODO-WSD METODO-LRFD

Posición del eje neutro

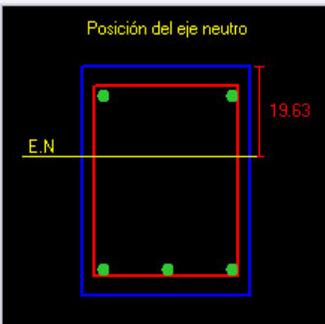
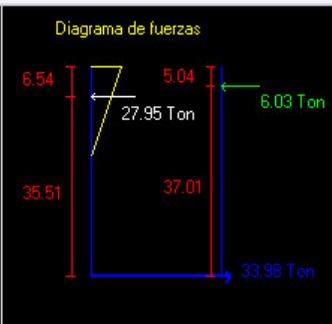


Diagrama de fuerzas



INFORMACION-METODO(WSD) Diseño sobre-reforzado
INFORMACION-METODO(LRFD) Diseño sub-reforzado

Revisión viga rectangular Método de carga última (LRFD).

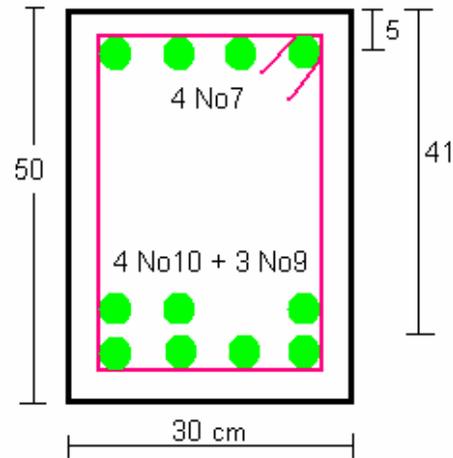
Tomado del libro Estructuras de Concreto I, de Jorge I. Segura Franco, página 95 – 96.

Revisar el diseño a flexión para momento máximo en el centro de la luz de 8 metros de una viga rectangular y simplemente apoyada sometida a una carga uniforme. La sección y los materiales respectivos son los siguientes:

$$f'c = 211 \text{ kgf / cm}^2$$

$$fy = 2400 \text{ kgf / cm}^2$$

$$Es = 2000000 \text{ kgf / cm}^2$$



1). Verificación de $(\rho - \rho')$:

$$(\rho - \rho') = \frac{Ast - Asc}{B * d} = \frac{52.11 - 15.48}{30 \cdot 41} = 0.02978$$

$$(\rho - \rho')_{\min} = \frac{0.85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{fy} \cdot \frac{\epsilon u \cdot Es}{(\epsilon u \cdot Es) - fy} \cdot \frac{d'}{d}$$

$$(\rho - \rho')_{\min} = \frac{0.85 \cdot 211 \cdot 0.85}{2400} \cdot \frac{0.003 \cdot 2000000}{(0.003 \cdot 2000000) - 2400} \cdot \frac{5}{41}$$

$$(\rho - \rho')_{\min} = 0.012911$$

$$(\rho - \rho')_{\max} = 0.75 \left(0.85 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'c}{fy} \cdot \frac{\epsilon u \cdot Es}{(\epsilon u \cdot Es) + fy} \right)$$

$$(\rho - \rho')_{\max} = 0.75 \cdot \left(0.85 \cdot 0.85 \cdot \frac{210}{2400} \cdot \frac{6000}{6000 + 2400} \right)$$

$$(\rho - \rho')_{\max} = 0.0338$$

$$0.012911 < 0.02978 < 0.0338$$

2) Obtención del momento resistente último $\phi M_n = M_1 + M_2$

$$M_2 = \phi \cdot A' s \cdot f_y \cdot (d - d') = 0.9 \cdot 15.48 \cdot 2400 \cdot (41 - 5)$$

$$M_2 = 12.037 \text{ Ton.m}$$

$$M_1 = \phi \cdot (A_{st} - A_{sc}) \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{(A_{st} - A_{sc}) \cdot f_y}{0.85 \cdot f' c \cdot B} = \frac{(52.11 - 15.48) \cdot 2400}{0.85 \cdot 210 \cdot 30} = 16.41 \text{ cm}$$

$$M_1 = 0.9 \cdot (52.11 - 15.48) \cdot 2400 \cdot \left(41 - \frac{16.41}{2} \right)$$

$$M_1 = 25.956 \text{ Ton.m}$$

$$\phi M_n = 12.037 + 25.956$$

$$\phi M_n = 37.993 \text{ Ton.m}$$

A continuación se presentan los resultados de momento resistente proporcionados por el software de manera gráfica. Además de otros datos de interés dentro del ejercicio.

Finalmente, el momento resistente admisible de la sección determinado mediante el software, es **37.867 Ton.m**.

ANÁLISIS VIGA RECTANGULAR

Propiedades mecánicas

Propiedades del Concreto

f'_c 211 [Kgf/cm²]

Origen del Agregado

Igneo.
 Metamórfico.
 Sedimentario.
 Desconocido.

E_c 181142.20 [Kgf/cm²]

Propiedades del Acero

f_y 2400 [Kgf/cm²]

E_s 2000000 [Kgf/cm²]

Refuerzo Transversal

No. barra: No 2 Diámetro: 0.64 [cm]

TMN

TMN: 3/8" Diámetro: 0.95 [cm]

Sección

h 50 [cm]
 b 30 [cm]
 r 4 [cm]
 r' 4.36 [cm]

Ref. Longitudinal

A_s 52.11 cm²
 A'_s 15.48 cm²

Momento resistente (ASD)

18.484 [Ton.m]

MRS 21.79 Ton.m
 I_{xx} 403653.2 cm⁴

(LRFD)

37.867 [Ton.m]

P_{bal} 0.058
 ϵ_s 0.0012
 F_s 2400

Graficar

Sección M vs. A_s

Grafico de fuerzas

METODO-WSD METODO-LRFD

Detalle

Posición del eje neutro

E.N. 19.22

Diagrama de fuerzas

8.17 5 79.12 Ton 33.44 Ton
32.7 35.87 112.56 Ton

INFORMACION-METODO(WSD) Diseño sobre-reforzado
INFORMACION-METODO(LRFD) Diseño sub-reforzado

Diseño viga rectangular Método de carga última (LRFD).

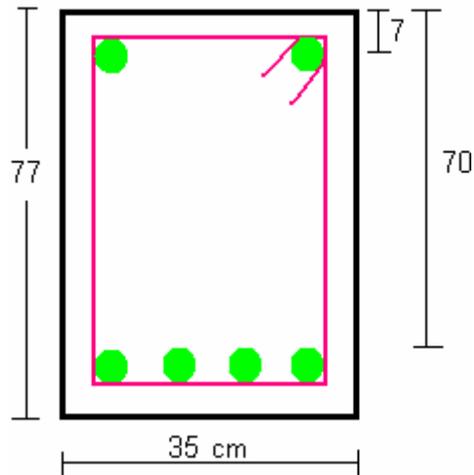
Tomado del libro Diseño de concreto reforzado (4^a edición), de Jack C. McCormac, página 146. (Método Carga Última (LRFD)).

Si se tiene un momento $M_u = 1225$ kN.m, determine el área de acero requerida para la sección mostrada en la figura, si se requiere acero en de compresión suponga que este se coloca a 70 mm de la cara de compresión.

$$f'c = 240 \text{ kgf / cm}^2$$

$$fy = 4200 \text{ kgf / cm}^2$$

$$Es = 2000000 \text{ kgf / cm}^2$$



$$Mn = \frac{122.5}{0.9} = 1361 \text{ kN.m}$$

$$\rho_{\max} = 0.0182 \quad (\text{tomado de tablas})$$

$$As1 = 0.0182 \cdot 35 \cdot 70 = 44.59 \text{ cm}^2$$

$$\frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = 6.2112 \quad (\text{tomado de tablas})$$

$$Mu1 = \frac{62112 \cdot 0.9 \cdot 35 \cdot 70^2}{10^6} = 95.87 \text{ Ton.m}$$

$$Mn1 = \frac{95.87}{0.9} = 106.52 \text{ Ton.m}$$

$$Mn2 = Mn - Mn1 = 136.1 - 106.52 = 29.58 \text{ Ton.m}$$

Revisión para ver si fluye el acero de compresión.

$$a = \frac{44.59 \cdot 4200}{0.85 \cdot 240 \cdot 35} = 26.23 \text{ cm}$$

$$c = \frac{26.23}{\beta_1} = \frac{26.23}{0.85} = 30.859 \text{ cm}$$

$$\varepsilon'_s = \left(\frac{30.859 - 7}{30.859} \right) \cdot 0.003 = 0.00232$$

$$\varepsilon_y = \frac{4200}{2000000} = 0.0021$$

$0.00232 > 0.0021$ *el acero fluye;*

$$A' s_{req} = \frac{29.58 \cdot 10^6}{(70 - 7) \cdot 4200} = 11.18 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 44.59 + 11.18 = 55.77 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto se tiene que:

Área requerida en tracción = 55.77 cm²

Área requerida en compresión = 11.18 cm²

Mediante la utilización del software se obtiene los resultados presentados en la figura siguiente en donde se puede apreciar que los resultados son:

Área requerida en tracción = 55.78 cm²

Área requerida en compresión = 11.15 cm²

Diseño viga rectangular Flexión, Método carga última (LRFD)

Propiedades mecánicas

f'_c 240 [Kgf/cm²]
 E_c 193649.16 [Kgf/cm²]

Origen del Agregado

Igneo.
 Metamorfico.
 Sedimentario.
 Desconocido.

Datos del Acero

f_y 4200 [Kgf/cm²]
 E_s 2000000 [Kgf/cm²]

Refuerzo Transversal

No. barra: No 2, Diámetro: 0.64 [cm]

TMN

TMN: 3/8", Diámetro: 0.95 [cm]

Cap. disipación de energía

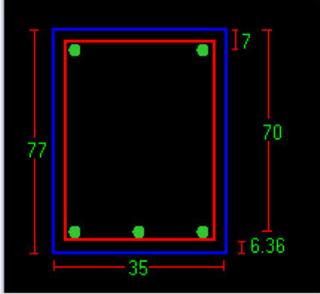
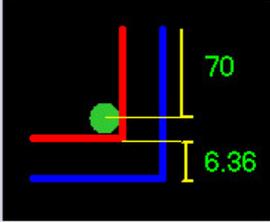
Mínima
 Moderada
 Especial

Sección

h 77 [cm]
 b 35 [cm]
 r 6.36 [cm]
 r' 6.36 [cm]

Graficar

Sección As vs. Distancia Ec. Momento

Mom [Ton.m]: 122.5, Ast [cm²]: 55.78, Asc [cm²]: 11.15

DISEÑAR **Validar** **Validar** **Buscar combinaciones** **Graficar**

Posibles Combinaciones: 5 No10 + 3 No8 **Asignar**

Características: Área: 56.25 [cm²], Ancho Mínimo: 56.3 [cm]

Diseño viga rectangular Método Esfuerzos Admisibles (ASD).

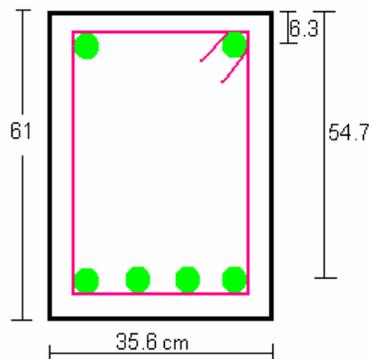
Tomado del libro Diseño de concreto reforzado (4ª edición), de Jack C. McCormac, Apéndice C página 765. (Método Esfuerzos Admisibles (ASD)).

Diseñe la viga mostrada en la figura solo por momento. Teniendo en cuenta los datos de:

$$f'_c = 94.5 \text{ kgf / cm}^2$$

$$f_y = 1400 \text{ kgf / cm}^2$$

$$n = 9$$



Los anteriores datos ya están afectados por el factor de reducción.

$$M = 117.5 \text{ pie.klb} = 16.28 \text{ Ton.m}$$

$$k = \frac{f'c}{f'c + \left(\frac{fs}{n}\right)} = \frac{94.5}{94.5 + \left(\frac{1400}{9}\right)} = 0.378$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 1 - \frac{0.378}{3} = 0.874$$

$$As = 3.75 p l g^2 = 24.194 \text{ cm}^2$$

Por medio del software se obtiene un área de acero requerida de **24.32 cm²**, esta diferencia se debe a las aproximaciones decimales que se toman para la variable n (relación de módulos).

Diseño viga rectangular Flexión, Método esfuerzos admisibles (ASD)

Propiedades mecánicas

f'c: 210 [Kgf/cm²]
Ec: 217370.65 [Kgf/cm²]

Origen del Agregado

Igneo.
 Metamorfico.
 Sedimentario.
 Desconocido.

Datos del Acero

fy: 2800 [Kgf/cm²]
Es: 2000000 [Kgf/cm²]

Refuerzo Transversal

No. barra: No 2, Diámetro: 0.64 [cm]

TMN

TMN: 3/8", Diámetro: 0.95 [cm]

Cap. disipación de energía

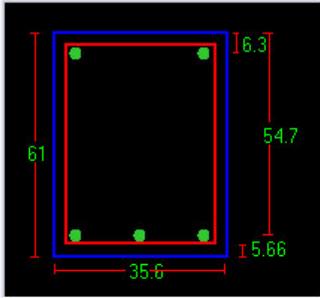
Mínima
 Moderada
 Especial

Sección

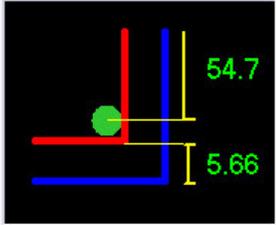
h: 61 [cm]
b: 35.6 [cm]
r: 5.66 [cm]
r': 5.66 [cm]

Graficar

Sección As vs. Distancia Ec. Momento



Detalle



Mom [Ton.m]: 16.28, As [cm²]: 24.32

DISEÑAR

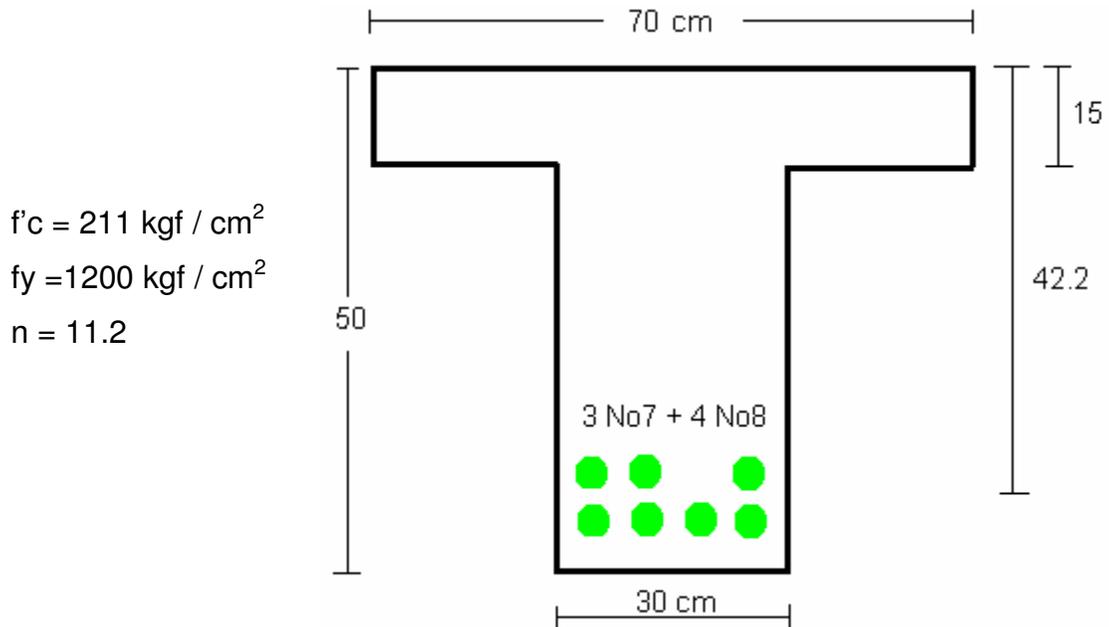
Posibles Combinaciones

- 5 No7 + 2 No6
- 5 No7 + 2 No6
- 3 No10
- 2 No9 + 3 No7
- 3 No9 + 1 No8
- 1 No8 + 5 No7
- 2 No8 + 5 No6

Diseño viga "T" Método Esfuerzos Admisibles (ASD).

Tomado del libro Estructuras de Concreto I, de Jorge I. Segura Franco, página 52 (Método Esfuerzos Admisibles (ASD)).

Revisar el diseño a flexión para momento máximo en el centro de la luz de 8 metros de una viga T simplemente apoyada. Las condiciones de sección y parámetros son los presentados a continuación.



1). Obtención de la sección homogénea:

$$A_t = n \cdot A_s = 11.2 \cdot (4 \cdot 5.1 + 3 \cdot 3.87) = 358.51 \text{ cm}^2$$

$$d = 42.2 \text{ cm}$$

$$x^2 + 639x - 130837 = 0$$

$$x = 16.31 \text{ cm}$$

$$d - x = 25.88 \text{ cm}$$

$$I_{x-x} = 341328 \text{ cm}^4$$

2). Momento resistente:

$$M_c = \frac{f'c \cdot I_{x-x}}{x} = \frac{95 \cdot 341328}{16.31} = 19.88 \text{ Ton.m}$$

$$M_s = \frac{f_s \cdot I_{x-x}}{n(d-x)} = \frac{1200 \cdot 341328}{11.2 \cdot 25.88} = 14.13 \text{ Ton.m}$$

Por lo tanto la sección se encuentra sub-reforzada y el momento admisible es el soportado por el acero en tracción igual a **14.13 Ton.m**.

Por medio del software y teniendo en cuenta las condiciones de la sección y los parámetros de diseño, se obtiene igualmente que la sección esta sub-reforzada con un momento admisible de **14.14 Ton.m**.

ANÁLISIS VIGA T AISLADA

Propiedades mecánicas

Propiedades del Concreto

f'c: 210 [Kgf/cm²]

Origen del Agregado

Igneo.
 Sedimentario.
 Metamorfico.
 Desconocido.

Ec: 181142 [Kgf/cm²]

Propiedades del Acero

fy: 2400 [Kgf/cm²]

Es: 2000000 [Kgf/cm²]

Refuerzo Transversal

No. barra: No 2 | Diámetro: 0.64 [cm]

TMN

TMN: 3/8" | Diámetro: 0.95 [cm]

Sección

h: 50 [cm]
b: 70 [cm]
bw: 30 [cm]
hf: 15 [cm]
r: 3.6 [cm]

Ref. Longitudinal

As: 32.0 [cm²]

Momento resistente (ASD)

14.141 [Ton.m]

MRC: 19.69 Ton.m
Ixx: 338018.9 cm⁴

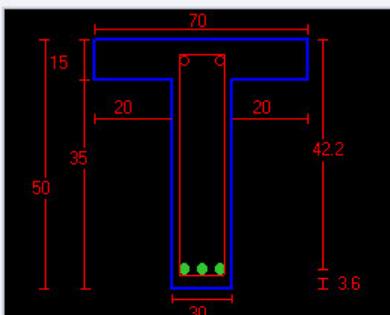
(LRFD)

27.044 [Ton.m]

Pbal: 0.045

Graficar

Sección M vs. As



Detalle

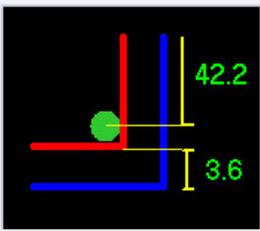


Gráfico de fuerzas

METODO-WSD METODO-LRFD

Posición del eje neutro

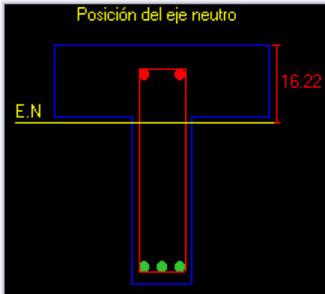
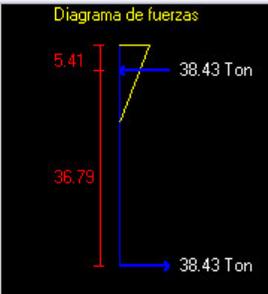


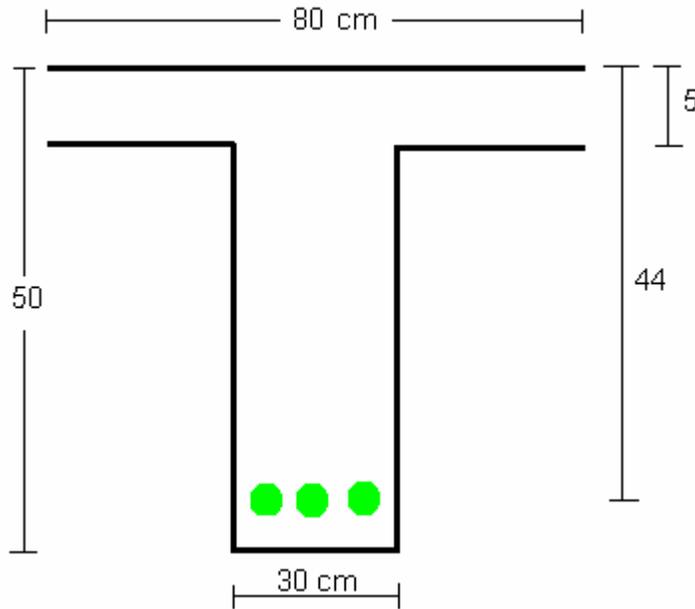
Diagrama de fuerzas



INFORMACION- METODO(WSD) Diseño sub-reforzado
OBSERVACION-METODO(LRFD) Diseño sub-reforzado

Diseño viga "T" Método Carga última (LRFD).

Diseñar la armadura necesaria al a flexión en una viga de sección T, que hace parte de un sistema monolítico de losa basado en vigas T, según la figura, simplemente apoyada en una luz de 8 metros, armada en concreto de $f'c=211$ kgf/cm^2 y acero para $f_y = 42000$ kgf/cm^2 , si soporta una carga total de 2.464 ton/m .



$$\phi M_n = 33.51 \text{ ton.m}$$

1. Comprobación de la profundidad del rectángulo de compresión.

$$\phi M_n = \phi \rho f_y \left(1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'c} \right) b d^2$$

$$335.1 = 0.9 * \rho * 420000 * \left(1 - 0.59 \rho \frac{420000}{21100} \right) * 0.8 * 0.44^2$$

$$\rho = 0.006173$$

$$a = \frac{\rho \cdot f_y}{0.85 \cdot f'c} = \frac{0.006173 \cdot 420}{0.85 \cdot 21.1} * 440 = 63.6 \text{ mm}$$

$$kud = 1.18 * a = 75 \text{ mm}$$

El eje neutro es mayor que el espesor de la aleta. (se diseña como viga T)

a) Determinación de M_{uf} y A_{sf}

$$M_{uf} = \phi * 0.85 * f_c (b - b') t (d - \frac{t}{2})$$

$$M_{uf} = \phi * A_{sf} * f_y (d - \frac{t}{2}) \text{ de donde}$$

$$A_{sf} = \frac{0.85 * f_c (b - b') t}{f_y} = \frac{0.85 * 21.1 (0.8 - 0.3) * 0.05}{420} = 0.001068 \text{ m}^2$$

$$M_{uf} = 0.9 * 0.001068 * 420000 * (0.44 - \frac{0.005}{2}) = 16.754 \text{ ton.m}$$

b) Determinación de M_{uw}

$$M_{uw} = M_u - M_{uf} = 33.51 - 16.754 = 16.756 \text{ ton.m}$$

Por lo tanto

$$M_{uw} = \phi * (\rho - \rho') f_y \left[1 - 0.59 (\rho - \rho') \frac{f_y}{f'_c} \right] b d^2$$

$$16.754 = 0.9 * (\rho - \rho') 420000 \left[1 - 0.59 (\rho - \rho') \frac{420000}{21100} \right] * 0.3 * 0.44^2$$

Despejando

$$\rho - \rho_f = 0.00849 \quad \text{entonces } A_{st} - A_{sf} = 0.00849 * 300 * 440 = 1121 \text{ mm}^2$$

$$\text{Armadura: } A_s = 1121 + 1068 = 2189 \text{ mm}^2$$

Haciendo uso del software se obtiene en un mensaje emergente el valor de “a” que es mayor que el espesor de ala de viga, por lo tanto se trabaja como viga T

$$a=6.37 \text{ cm} > 5 \text{ cm}$$

$$A_s = 21.89 \text{ cm}^2$$

Valor similar al calculado manualmente, como se observa en la siguiente imagen. La única aclaración que se debe realizar para el anterior ejemplo, radica en la diferencia entre el recubrimiento suministrado como dato de diseño (6 cm.) y el asignado al software (5.4 cm.), debido a que en este tiene en cuenta el diámetro del estribo transversal.

Diseño Viga T aislada Flexión, Método carga última (LRFD)

Propiedades mecánicas
f'c 211 [Kgf/cm²]
Ec 181573 [Kgf/cm²]

Origen del Agregado
 Igneo.
 Sedimentario.
 Metamorfico.
 Desconocido

Propiedades del Acero
fy 4200 [Kgf/cm²]
Es 2000000 [Kgf/cm²]

Refuerzo Transversal
No. barra No 2
Diametro 0.64 [cm]

TMN
TMN 3/8"
Diametro 0.95 [cm]

Cap. de disipación de energía
 Mínima
 Moderada
 Especial

Sección
h 50 [cm]
b 80 [cm]
bw 30 [cm]
hf 5 [cm]
r 5.4 [cm]

Graficar
 Sección
 As vs. Distancia
 Ec. Momento

Detalle
44
5.4

Mom [Ton.m] 33.51
As [cm²] 21.89

DISEÑAR Verificar

ECUACIONES DEL ESTADO DE CARGAS
Ingrese las Ecuaciones de Momento (M)

Graficar

MENU

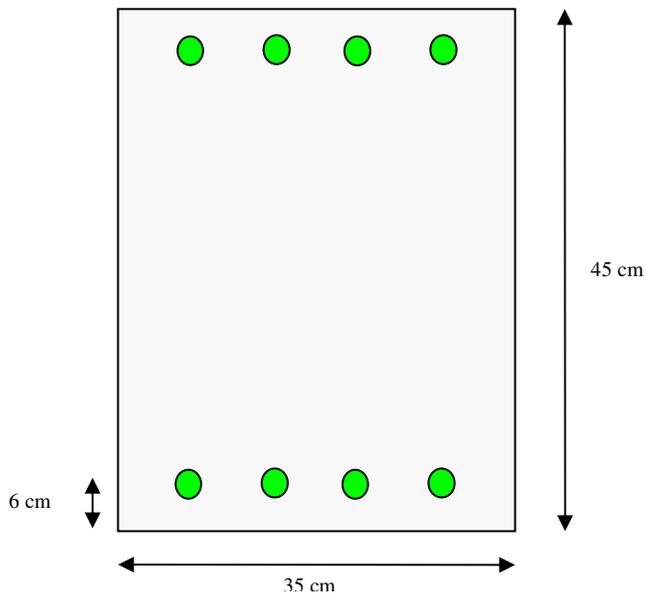
Diseño columna rectangular con solicitación axial.

Tomado del libro Estructuras de Concreto I, de Jorge I. Segura Franco, página 63 – 64.

Diseñar una sección rectangular de columnas, predimensionada de acuerdo con lo expuesto a continuación, con $b = 35 \text{ cm}$. y $t = 45 \text{ cm}$, si se construirá en concreto de $f'c = 211 \text{ Kgf/cm}^2$ y acero de refuerzo para $f_y = 2400 \text{ kgf/cm}^2$ y debe soportar las siguientes cargas y momentos últimos.

$$P_u = 182.047 \text{ Ton}$$

$$M_{ux} = 9.1 \text{ Ton.m}$$



Utilizando el programa UNCOL 2.5, referenciado en el libro de Estructuras de Concreto 1 por Jorge Segura Franco, página 254. Los resultados obtenidos para este ejemplo en particular son:

$$A_s = 0.00228 \text{ m}^2 \text{ ó } \mathbf{22.8 \text{ cm}^2}$$

$$r_o = 0.0145$$

Los datos obtenidos por el programa en prueba denominado SADVigCol, bajo las mismas condiciones son:

$$A_s = 22.48 \text{ cm}^2$$

$$\rho = 1.43\%$$

Resultados muy similares como se presenta el siguiente gráfico.

DISEÑO AXIAL COLUMNA RECTANGULAR

Propiedades Geométricas

Sección

t 45 [cm]
b 35 [cm]
r 5 [cm]

% de acero

% inicial 1
% final 6
incremento 1

Parámetros de diseño

f_c 210 [Kgf/cm²]
f_y 2400 [Kgf/cm²]

Constantes Ayuda

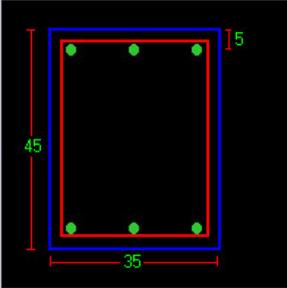
ε 0.003
E_s 2000000 [Kgf/cm²]

Cargas de Diseño Solicitaciones Nominales

Pu 182 [Ton] P_n = 260 Ton
Mu 9.1 [Ton.m] M_n = 13 Ton.m

Graficar

Sección Mn vs Pn



Resultados

ρ 1.43 valor en %
Área de acero 22.48 cm²

Diseño columna rectangular con solicitaciones uniaxiales.

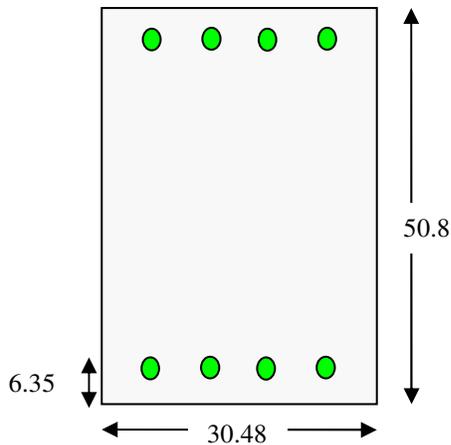
Tomado de libro Diseño de concreto Reforzado 4ª edición de Concreto I, de Jack C. McCormac, página 333 – 334.

La columna con estribos de 12" x 20" en la siguiente figura va usarse para soportar las siguientes cargas $P_D = 100 \text{ Klb}$, $P_L = 110 \text{ klb}$, $M_D = 60 \text{ pie.klb}$ Y $M_L = 80 \text{ pie.klb}$ con $f'_c = 4000 \text{ lb/plg}^2$ y $f_y = 60000 \text{ lb/plg}^2$, seleccione las barras de refuerzo en dos caras frontales usando las curvas de interacción.

Para hacer uso del software se debe hacer las correspondientes conversiones de unidades

$$f'_c = 4000 \text{ lb/plg}^2 \quad \text{ó} \quad 280 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_y = 60000 \text{ lb/plg}^2 \quad \text{ó} \quad 4200 \text{ kgf/cm}^2$$



$$P_u = 1.4 * 100 + 1.7 * 110 = 327 \text{ klb} \quad \text{ó} \quad 148.64 \text{ ton}$$

$$P_n = \frac{327}{0.7} = 467.1 \text{ klb}$$

$$M_u = 1.4 * 60 + 1.7 * 80 = 220 \text{ Pie-klb} \quad \text{ó} \quad 30.48 \text{ Ton.m}$$

$$Mn = \frac{220}{0.7} = 314.3 \text{ pie. } klb$$

$$e = \frac{12 * 314.3}{467.1} = 8.07$$

$$\frac{e}{h} = \frac{8.07}{20} = 0.404$$

$$\frac{\phi Pn e}{Ag h} = \frac{0.7 * 467.1 \left(\frac{8.07}{20} \right)}{240} = 0.55$$

$$\gamma = \frac{15}{20} = 0.75$$

$\rho = 0.020$ De la figura 9.16, o gráfica 16 del apéndice A

$$As = 0.020 * 20 * 12 = 4.8 \text{ plg}^2 \text{ ó } 30.96 \text{ cm}^2$$

Realizando los cálculos con las respectivas conversiones para el ejemplo anterior en el software se obtiene un área de **30.85 cm²** muy similar al obtenido de las cartillas de diagramas de interacción.

DISEÑO AXIAL COLUMNA RECTANGULAR

Propiedades Geométricas

Sección

t 50.8 [cm]

b 30.5 [cm]

r 6.35 [cm]

% de acero

% inicial 1

% final 6

incremento 1

Parámetros de diseño

f'c 280 [Kgf/cm2]

fy 4200 [Kgf/cm2]

Costantes

ε 0.003

Es 2000000 [Kgf/cm2]

Cargas de Diseño

Pu 148.6 [Ton]

Mu 30.48 [Ton.m]

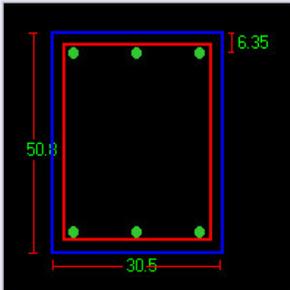
Solicitaciones Nominales

Pn = 212.29 Ton

Mn = 43.54 Ton.m

Graficar

Sección Mn vs Pn



Resultados

ρ 1.99 valor en %

Area de acero 30.85 cm2

Diseño columna rectangular con solicitaciones biaxiales

Tomado de libro Diseño de concreto Reforzado 4ª edición de Concreto I, de Jack C. McCormac, página 341 – 343.

Seleccione el refuerzo necesario para la columna corta cuadrada con estribos de la siguiente figura, si $P_D = 100$ klb, $P_L = 140$ klb, $M_{Dx} = 50$ pie.klb Y $M_{Lx} = 70$ pie.klb $M_{Dy} = 40$ pie.klb Y $M_{Ly} = 60$ pie.klb con $f'_c = 4000$ lb/plg² y $f_y = 60000$ lb/plg².

Datos

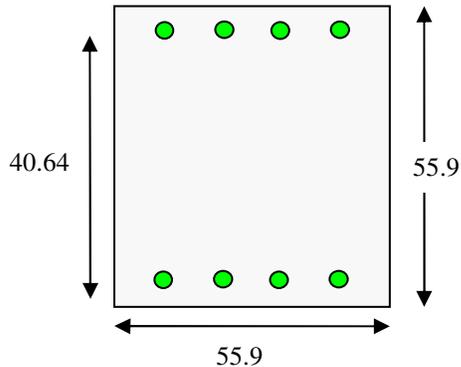
$$f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$B = 55.9$$

$$t = 55.9$$

$$r = 7.62$$



Solución.

Valores de diseño.

$$P_u = 1.4 * 100 + 1.7 * 110 = 378 \text{ klb} \quad \text{ó} \quad 171.82 \text{ ton}$$

$$P_n = \frac{378}{0.7} = 540 \text{ klb}$$

$$M_{ux} = 1.4 * 50 + 1.7 * 70 = 189 \text{ pie-klb} \quad \text{ó} \quad 26.19 \text{ ton.m}$$

$$M_{nx} = \frac{189}{0.7} = 270 \text{ pie.klb}$$

$$M_{uy} = 1.4 * 40 + 1.7 * 60 = 158 \text{ pie-klb} \quad \text{ó} \quad 21.89 \text{ ton.m}$$

$$M_n = \frac{158}{0.7} = 225.7 \text{ pie.klb}$$

Determinación del acero requerido

$$e_x = e_y \frac{12 * 495.7}{540} = 11.02 \text{ plg.}$$

$$\frac{e}{h} = \frac{11.02}{22} = 0.501$$

$$\gamma = \frac{16}{22} = 0.727$$

$$\frac{\phi P_n}{A_g} * \frac{e}{h} = \frac{0.7 * 540}{22^2} * 0.501 = 0.391$$

Por interpolación de los diagramas de interacción.

$$\rho = 0.0123$$

$$A_s = 0.0123 * 22^2 = 5.95 \text{ pul}^2 \text{ ó } 38.39 \text{ cm}^2$$

Realizando el mismo cálculo utilizando el software en evaluación se obtiene una área de acero de **39.06 cm²**, como se muestra en la siguiente imagen.

