

**DESARROLLO DE SOFTWARE PARA DISEÑO DE ELEMENTOS DE
CONCRETO REFORZADO *CR-LAB***

MARIO SANTACRUZ CASTELLANOS

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
SANTIAGO DE CALI**

2012

**DESARROLLO DE SOFTWARE PARA DISEÑO DE ELEMENTOS DE
CONCRETO REFORZADO *CR-LAB***

MARIO SANTACRUZ CASTELLANOS

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero civil

Directores:

Daniel Gómez Pizano, M. Sc.

Carlos Madera Sierra, M. Sc.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
SANTIAGO DE CALI**

2012

Nota de Aceptación:

EIMAR SANDOVAL, M.SC.

Director del Programa
Académico de Ingeniería
Civil

ALEJANDRO CRUZ, M.SC.

Jurado

GERMÁN ANDRÉS POSSO,
M.SC.

Jurado

DANIEL GÓMEZ PIZANO.
M.SC.

Director del Trabajo de
Grado

CARLOS MADERA SIERRA.
M.SC.

Co-director del Trabajo de
Grado

Ciudad y fecha

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos:

A mi familia por su apoyo incondicional durante toda esta etapa.

A mis compañeros y amigos, que compartieron estos años de enseñanza junto a mí.

A todos mis familiares y amigos que de una u otra manera estuvieron pendientes y me brindaron su apoyo a lo largo de este proceso.

A mis directores de tesis Daniel Gómez y Carlos Madera por sus consejos, acompañamiento y apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero Germán Posso por su colaboración en la etapa final del proyecto.

A la Universidad del Valle y al grupo de investigación G-7.

RESUMEN

En las últimas décadas las herramientas computacionales se han convertido en una utilidad esencial para el análisis, estimación y resolución de problemas en todos los campos del conocimiento. Para la ingeniería civil los programas de análisis y diseño estructural componen la principal ayuda de trabajo para los ingenieros y empresas dedicadas a este fin, esto se debe a que los resultados que estos ofrecen soluciones de diseño acordes a los diferentes requisitos, recomendaciones y especificaciones estipuladas en normas, como la NSR-10(AIS, 2010), para el caso de Colombia. En este documento se describen las fases para el desarrollo del software CR-LAB, y la metodología que este programa desarrolla para llevar a cabo los procesos de diseño en cada caso, además se incluye la verificación de estos resultados y el manual para el manejo adecuado del software.

TABLA DE CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	1
1. PROBLEMA	2
1.1. DESCRIPCIÓN	2
1.2. FORMULACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. General	2
1.3.2. Específicos	3
2. JUSTIFICACIÓN	3
3. ANTECEDENTES	4
4. MARCO TEÓRICO	5
4.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	5
4.1.1. MÉTODO DE LA RIGIDEZ PARA LA SOLUCIÓN DE ESTRUCTURAS	5
4.2. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO	5
4.3. MÉTODO DE ANÁLISIS Y DISEÑO POR RESISTENCIA	6
4.4. COMPORTAMIENTO ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO SOMETIDOS A FLEXIÓN SIMPLE	7
4.4.1. DISEÑO DE COLUMNAS EN CONCRETO REFORZADO	8
5. FASES DE DESARROLLO DEL SOFTWARE	10
5.1. FASE I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	10
5.2. FASE II: CODIFICACIÓN	10
5.2.1. Codificación: Integración del software con otras aplicaciones (preprocesadores) para la importación de datos	11
5.2.2. Codificación: Integración del software con otras aplicaciones para la presentación de resultados de diseño	11
5.3. FASE III: PRESENTACIÓN GRÁFICA	11
5.4. FASE IV: DOCUMENTACIÓN DEL SOFTWARE	12

6. CR-LAB	12
6.1. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA	12
6.2. PROCESO BÁSICO PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS A PARTIR DE MODELOS DE ANÁLISIS.....	13
6.3. PROCESO BÁSICO PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOSAS ARMADAS EN UNA DIRECCIÓN	13
6.4. VENTANA DE INICIO	14
6.5. CR-LAB PARA EL DISEÑO DE VIGAS Y COLUMNAS	14
6.6. VENTANA DE EXPLORACIÓN PARA LA CARGA DEL MODELO	15
6.7. VENTANA PARA EL INGRESO DE VARIABLES ADICIONALES PARA EL DISEÑO Y DESPIECE	16
6.8. VERIFICACIÓN Y DISEÑO POR ELEMENTO	16
6.9. MENÚ ESPECIFICACIONES DEL ELEMENTO SELECCIONADO	17
6.10. VENTANA <i>SOLICITACIONES</i> SOBRE EL ELEMENTO PARA VIGAS	18
6.11. VENTANA SELECCIÓN ENTRE TIPOS DE LOSA.....	18
6.12. ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA LOSA	19
6.13. VENTANA PARA LA EDICIÓN DE LUCES QUE COMPONEN EL ELEMENTO	19
6.14. VENTANAS DE RESUMEN DE DISEÑO	20
6.15. VENTANA PARA SELECCIÓN DE ARCHIVO DE SALIDA:	21
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
7.1. CONCLUSIONES	23
7.2. RECOMENDACIONES.....	24
BIBLIOGRAFÍA	25

TABLA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Distribución rectangular de esfuerzos para resistencia última. (Fuente: Larraín et al, 2006).	8
Figura 2. a) vista en 3d. b) flexión sobre el eje x. c) flexión sobre el eje y. d) flexión biaxial sobre la columna. (Fuente: Charif, 2011)	9
Figura 3. Curva de interacción típica. (Fuente: ESPE, 2010)	10
Figura 4. Ventana de inicio CR-LAB.	14
Figura 5. Ventana definición de condiciones y parámetros iniciales de diseño para vigas y columnas.	14
Figura 6. Asistente para la carga de archivos con geometría y solicitaciones del modelo. 15	
Figura 8. a. Ventana resultados de diseño para el modelo para vigas o columnas, b. Submenú para verificación de especificaciones, solicitaciones y diseño. 17	
Figura 9. Ventana especificaciones del elemento seleccionado.	17
Figura 10. Ventana solicitaciones para elementos viga.	18
Figura 12. Ventana especificaciones losa maciza.	19
Figura 13. Ventana Edición de cargas por luz y anchos de apoyo.	19
Figura 14. Solicitaciones del elemento.	20
Figura 15. Ventana resumen de resultados de diseño para columna.	21
Figura 16. Ventana de resumen para los resultados del diseño para Vigas.	21
FIGURA 17. Ventana para selección de archivos de salida.	22

ÍNDICE DE TABLAS

pág.

TABLA 1. FACTORES DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA EN LA NSR-10.....	7
---	---

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las aplicaciones utilizadas en la ingeniería son herramientas esenciales para cualquier ingeniero dedicado al diseño estructural. Estas aplicaciones se basan en rutinas de programación que brindan resultados precisos, facilitando así la creación y diseño de estructuras complejas; por esta razón la implementación de estos programas se ha generalizado en el mundo. Entre estas aplicaciones se pueden destacar algunas por su versatilidad para el análisis de estructuras complejas mediante elementos finitos como lo son SAP2000 (CSI, 2010d), ETABS (CSI, 2010b), y SAFE (CSI, 2010c) de la compañía CSI (CSI, 2010a). Los anteriores programas representan soluciones robustas y versátiles que se basan en los reglamentos ACI de Estados Unidos, RCDF de México y el EUROCODE, éstas además ofrecen módulos de diseño para aplicaciones específicas.

Para el caso de Colombia, la oferta en lo que respecta a aplicaciones desarrolladas con base en la norma vigente de diseño estructural NSR-10 es reducida, por lo que se deben buscar soluciones basadas en otras normas que no coinciden del todo con la normativa nacional. Por esta razón se hace necesaria la creación de una aplicación computacional confiable basada completamente en el título C (AIS, 2010) de la NSR-10 para el diseño de elementos fabricados en concreto reforzado, que le ofrezca al usuario además de cálculos de refuerzo y chequeos, representaciones de los detalles estructurales y memorias de cálculo donde se muestren de manera ordenada los resultados de los cálculos realizados.

Este trabajo contiene la metodología empleada para el desarrollo del software de diseño para elementos en concreto reforzado CR-LAB, así como también los fundamentos teóricos, especificaciones técnicas, requerimientos mínimos y recomendaciones estipuladas en la norma colombiana NSR-10 que se tuvieron en cuenta para crear las rutinas del software, específicamente para el diseño de vigas, columnas y losas armadas en una dirección. Además se incluyen los resultados de las pruebas de escritorio que sirven como verificación de los resultados presentados por el programa, también se incluye un manual de usuario donde se describen el funcionamiento y manejo adecuado del programa.

1. PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN

Siendo el costo y la seguridad estructural los principales parámetros a la hora de realizar un diseño. La tarea del ingeniero calculista consiste en presentar una propuesta que además de cumplir con los requisitos mínimos y recomendaciones de la norma, sea viable económicamente.

Por esta razón el proceso de diseño se hace de manera iterativa, hasta el punto en que la estructura sea capaz de soportar las solicitaciones a las que probablemente se verá sometida durante su vida útil. Cumpliendo así con los requisitos de seguridad en los que hace hincapié la NSR-10, es por esto que actualmente se recurre a aplicaciones computacionales que automatizan este proceso de diseño. Sin embargo, la mayoría de estos programas no están basados en la NSR-10, y no ofrecen ayudas sustanciales a la hora de presentar los resultados de diseño. Por un lado está la carencia de un documento de memoria de cálculo bien estructurado y por el otro lado la mayoría de estos programas no ofrecen la opción de crear archivos que sean compatibles con programas para el dibujo de detalles estructurales como AutoCAD.

1.2. FORMULACIÓN

¿Cómo desarrollar un programa capaz de diseñar elementos de concreto reforzado de acuerdo a la NSR-10 que cuente con una interfaz de fácil manejo para el usuario, que además facilite el proceso de diseño estructural de elementos en concreto reforzado?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. General

Desarrollar una herramienta computacional en MATLAB basada en la norma colombiana NSR-10 y recomendaciones de la ACI 318-08 (Larraín, et al., 2006) para el diseño y análisis de elementos de concreto reforzado (vigas, columnas, losas macizas y aligeradas), que funciona a partir de los datos de análisis estructural provenientes de un preprocesador.

1.3.2. Específicos

- Crear una herramienta para la importación de los datos de análisis y geometría desde SAP2000 y ETABS.
- Recopilar los requerimientos, especificaciones y recomendaciones referentes al diseño de concreto reforzado de la norma colombiana NSR-10 para columnas, vigas y losas armadas en una dirección.
- Elaboración de diagramas de flujo donde se presentan los procedimientos de chequeo y diseño correspondientes a cada elemento.
- Desarrollar un módulo de análisis y diseño para elementos de concreto reforzado de acuerdo con la norma NSR-10.
- Creación de una herramienta para la presentación de la memoria de cálculo en formato PDF y RTF.
- Creación de un Script (archivo .scr) compatible con AutoCAD, para la representación de los despieces y detalles de refuerzo.
- Desarrollar una interfaz gráfica de fácil manejo.
- Creación de un manual de usuario.

2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad se hace imprescindible para cualquier empresa o ingeniero dedicado al diseño estructural, la adquisición de software para la realización de modelos computarizados de estructuras. Éstas son herramientas integrales que facilitan y complementan el análisis mediante modelos matemáticos complejos que de otra forma no serían posibles, proporcionando así la planeación de elementos estructurales en concreto reforzado, acero, madera, etc. Sin embargo la oferta de estos programas en Colombia es limitada.

Por esta razón se hace necesaria la inclusión de las normas de diseño y de control de sismo resistencia de Colombia (NSR-10) dentro de un software integral aplicado al diseño de elementos de concreto reforzado, con el fin de automatizar hasta cierto punto el proceso de diseño y cálculo estructural, mediante la presentación de resultados en memorias de cálculo, además de la creación de scripts compatibles con AutoCAD para la presentación de detalles estructurales.

En consecuencia, se hace necesaria la creación de una aplicación computacional que cuente con los requisitos mínimos y recomendaciones mencionados en la NSR-10 enfocados al diseño sismo resistente de elementos de concreto reforzado, para vigas, columnas y losas; ya que éstos son los elementos de concreto más comúnmente usados.

3. ANTECEDENTES

El desarrollo de programas orientados al análisis y diseño para las empresas dedicadas a este fin empieza al mismo tiempo en que aparece la versión de FORTRAN 77 (Velasco, 2001), convirtiéndose en la principal herramienta de programación científica de ese entonces pues FORTRAN es un lenguaje de bajo nivel, orientado a facilitar el desarrollo de programas debido a que permite escribir rutinas de programación de manera casi idéntica a como se escribirían las fórmulas en un papel. Con la aparición de FORTRAN 77 se adapta la plataforma llamada SOLIDSAP desarrollada en 1970 por la compañía Computes & Structures (CSI), esta plataforma se basa en sistemas de resoluciones matriciales encaminadas al análisis estructural. Posterior a la aparición del SOLIDSAP que en su entonces era usado en proyectos de gran magnitud, surge el SAP 80 el primer programa de la serie SAP que con el tiempo se convierte en un paquete de software esencial para el análisis estructural en la ingeniería civil.

En la actualidad el uso de SAP se ha masificado desde la aparición de SAP 2000, convirtiéndose en una de las principales herramientas de análisis estructural, con paquetes adicionales que facilitan el diseño de elementos estructurales. Estos paquetes de programas orientados al diseño específico de edificios (ETABS) y de cimentaciones (SAFE), se han convertido en herramientas esenciales para toda empresa dedicada al diseño estructural, debido a que es una herramienta integral para el análisis y diseño de todo tipo de estructuras, reduciendo considerablemente el tiempo y trabajo necesarios.

Además de los programas creados por CSI existen otros con funciones orientadas al diseño y análisis de elementos de concreto reforzado como es el caso de PROKON Inc. (PROKON, 2010). Estos son programas orientados al cálculo de acero de refuerzo, a partir de las solicitaciones a las que se verán sometidos los elementos.

Como herramienta adicional para estos programas se encuentran aplicaciones para el diseño y creación de detalles de refuerzo para elementos de concreto a partir de datos de análisis y geometrías, importados desde preprocesadores como SAP2000, ETABS o CYPECAD (CYPE Ingenieros, 2011); en Colombia claros ejemplos de este tipo de herramienta es DC-CAD (DDS, 2011), basado originalmente en la norma NSR-98 (AIS, 1998) y actualizado recientemente a la NSR-10, facilita en gran medida la creación de despieces en AutoCAD a partir de áreas de acero y separaciones de refuerzo transversal calculadas con base en las solicitaciones sobre cada uno de los elementos, obtenidas desde algún preprocesador para el análisis estructural.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

4.1.1. MÉTODO DE LA RIGIDEZ PARA LA SOLUCIÓN DE ESTRUCTURAS

El método de rigidez es un método de análisis matricial de desplazamientos, éste considera la subdivisión de la estructura en una serie de elementos finitos e identifica sus puntos extremos como nodos. Los elementos finitos representan cada uno de los elementos que componen la estructura, las propiedades de cada uno de estos elementos se agrupan dentro de la matriz denominada K de rigidez de la estructura. El procedimiento de análisis consiste en asignar a la estructura un arreglo matricial que relacione los desplazamientos de los nodos con las fuerzas exteriores que actúan sobre cada uno de éstos, la expresión matemática para este método es:

$$P_1 = k_{11}u_1 + k_{12}u_2$$

$$P_2 = k_{21}u_1 + k_{22}u_2$$

$$\{P\} = [k]\{u\}$$

Ecuación 1

Donde:

$\{P\}$ =Vector de cargas totales en los nudos

$[k]$ =Matriz de rigidez de la estructura

$\{u\}$ =Vector desplazamientos de los nudos

Aunque este método de análisis estructural matricial resulta tedioso para ser realizado a mano, es muy adaptable para su uso en computadora (Hibbeler, 1997). Además este método da como resultado los desplazamientos y fuerzas que actúan sobre la estructura de manera directa.

4.2. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

En la mayoría de situaciones, se desea que el colapso estructural de un miembro de concreto sea iniciado por la fluencia del refuerzo dúctil. Existen varias razones

para esto; una de ellas es que el valor de la resistencia del acero es mucho más confiable y predecible que la del concreto. Este carácter del concreto reforzado se manifiesta por el deseo de tener, en general, miembros subreforzados, en lugar de sobrerreforzados. Por tanto, la falla del acero ocurre antes que el concreto se aproxime a sus límites de esfuerzo (Parker y Ambrose, 2008).

La idea general en el diseño de concreto reforzado es garantizar que los miembros tengan un tamaño adecuado y que el acero se coloque en los lugares apropiados, en la cantidad necesaria y con las varillas orientadas para resistir la tensión requerida (Parker y Ambrose, 2008).

4.3. MÉTODO DE ANÁLISIS Y DISEÑO POR RESISTENCIA

Desde 1963 el uso del método de diseño de resistencia última se ha generalizado. En este método, (llamado actualmente diseño de resistencias) las cargas muertas y vivas se multiplican por factores de carga (equivalentes a factores de seguridad) y los valores resultantes se llaman cargas mayoradas. Los miembros se seleccionan luego de manera que teóricamente fallen justo bajo estas cargas mayoradas (McCormac, 2002). La seguridad en este método depende de la carga de diseño mayorada (resistencia requerida), que tiene un valor mayor al de la carga de servicio. La norma colombiana para diseño y construcción NSR-10 establece que el valor de la resistencia requerida, llamada U , debe ser como mínimo igual a:

$$\begin{aligned}
 &1.4(D) \\
 &1.2(D) + 1.6(L) + 0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e) \\
 &1.2D + 1.6(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e) + (1.0L \text{ ó } 0.5W) \\
 &1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e) \\
 &1.2D + 1.0E + 1.0L \\
 &0.9D + 1.0W \\
 &0.9D + 1.0E
 \end{aligned}$$

Ecuación 2.

Se dan otros factores de ajuste cuando es necesario considerar cargas adicionales en las condiciones de diseño (efectos de viento, presión del suelo,

asentamiento diferencial, deformación plástica, temperatura), los cuales generan sobreesfuerzos sobre los elementos estructurales.

La resistencia de diseño o resistencia última de los elementos estructurales se determina mediante la aplicación de recomendaciones y criterios dados en la norma NSR-10, además, se modifica mediante el uso de factores de reducción de resistencia (ver tabla 1) para las distintas condiciones de carga y esfuerzos en los elementos estructurales, para las siguientes situaciones: flexión, tensión axial, cortante, torsión, y apoyos de compresión. Los factores de reducción son utilizados porque proveen un nivel específico de seguridad frente a fenómenos tales como:

- 1) Variabilidad en la resistencia de los materiales (R_n).
- 2) Incertidumbre en el cálculo de las cargas y en el análisis estructural de las mismas.
- 3) Las consecuencias negativas que deja la falla. (Guerrero y Martinez, 2004)

Tabla 1. Factores de reducción de resistencia en la NSR-10

Factores de Reducción de Resistencia (ϕ)	NSR - 10
Flexión Simple y Tracción (estribos)	0,9 para secciones controladas por flexión.
Compresión (con espiral o zunchos)	0,70
Compresión (con estribos)	0,65
Corte y Torsión	0,75

4.4. COMPORTAMIENTO ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO SOMETIDOS A FLEXIÓN SIMPLE

Los elementos de concreto sometidos a flexión simple son ineficientes debido a que la resistencia a la tensión en flexión es una pequeña fracción de la resistencia a la compresión. En consecuencia, estas vigas fallan en el lado sometido a tensión a cargas bajas mucho antes de que se desarrolle la resistencia completa del concreto en el lado de compresión. Por esta razón se colocan barras de acero de refuerzo en el lado sometido a tensión tan cerca como sea posible del extremo de la fibra sometida a tensión (ver figura 2), conservando en todo caso una protección adecuada del acero contra el fuego y la corrosión. En una viga de concreto así reforzada, el acero de refuerzo resiste la tensión causada por los momentos flectores, mientras que el concreto usualmente es capaz de resistir sólo la compresión correspondiente. Esta acción conjunta de los dos materiales se garantiza si se impide su deslizamiento relativo, lo que logra mediante la utilización

de barras corrugadas con su alta resistencia por adherencia en la interface acero-concreto y, si es necesario, mediante anclajes especiales en los extremos de las barras (Nilson, 2001).

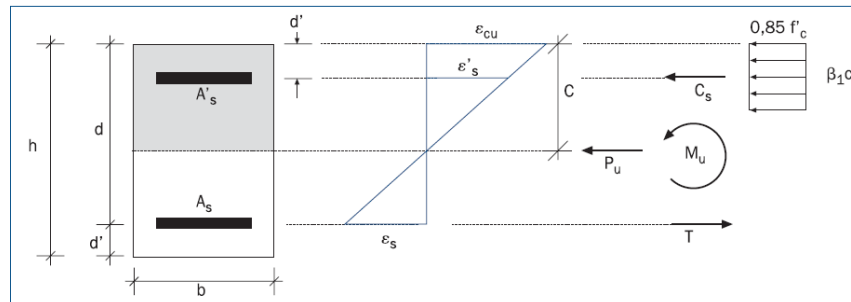


Figura 1. Distribución rectangular de esfuerzos para resistencia última. (Fuente: Larraín et al, 2006).

Las vigas también deben tener un margen de seguridad adecuado contra otros tipos de fallas, tal es el caso de la falla a cortante del concreto reforzado más conocida como falla a tensión diagonal. La falla a cortante es difícil de predecir en forma exacta. A causa de esto, por lo general se coloca refuerzo a cortante en las vigas de concreto reforzado para garantizar una falla a flexión antes de que ocurra la falla a cortante en caso de que el elemento se sobrecargue en exceso, esto con el fin de que la falla sea un tanto más predecible debido a la fluencia del acero a tracción. (Park y Paulay, 1978)

4.4.1. DISEÑO DE COLUMNAS EN CONCRETO REFORZADO

En general, las columnas además de soportar cargas axiales, soportan momentos flectores (ver Figura 3) con respecto a uno o a los dos ejes de la sección transversal y esta acción de flexión puede producir fuerzas de tensión sobre una parte de la sección transversal (Nilson, 2001). Generalmente se utilizan tres tipos de elementos a compresión de concreto reforzado:

1. Elementos reforzados con barras longitudinales y flejes transversales.
2. Elementos reforzados con barras longitudinales y espirales continuas.
3. Elementos compuestos a compresión reforzados longitudinalmente con perfiles de acero estructural o sin barras longitudinales adicionales, además de diferentes tipos de refuerzo transversal.

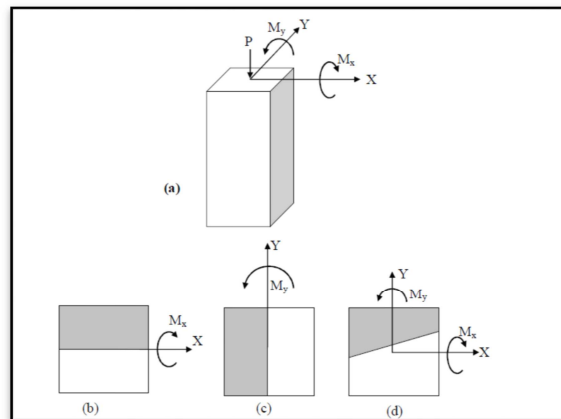


Figura 2. a) vista en 3d. b) flexión sobre el eje x. c) flexión sobre el eje y. d) flexión biaxial sobre la columna. **(Fuente:** Charif, 2011)

Las columnas pueden dividirse en dos grandes categorías: las columnas cortas, en las cuales la resistencia se rige por la resistencia de los materiales y por la geometría de la sección transversal, y las columnas esbeltas en las cuales la resistencia puede reducirse en forma significativa por las deflexiones laterales (Nilson, 2001)

Para el diseño de las secciones de columna sometidas a efectos de compresión y flexión simultáneas (flexocompresión), se requiere de la construcción de curvas de interacción para determinar la capacidad nominal del elemento, donde se relacionan la capacidad de resistencia a compresión del elemento con su resistencia a tracción en el eje estudiado. En el caso de columnas sometidas a flexión en ambos ejes de manera simultánea la capacidad nominal se determina mediante superficies de interacción, las cuales dependen del ángulo de aplicación del momento axial resultante sobre la columna.

Los gráficos, tradicionalmente utilizados, son un conjunto de diagramas que relacionan la carga y el momento de diseño, pueden hacerse en forma dimensional o adimensional. Estos gráficos se denominan diagramas de interacción y representan el lugar geométrico de las cargas P_u y M_u que producen la falla de la columna (Rochel, 2007).

El procedimiento de diseño y verificación de una columna empieza con la comprobación de que la solicitación a la que se someterá está dentro de la capacidad nominal de la columna (Diagramas dimensionales) multiplicada por el factor de reducción de esfuerzos ϕ (Resistencia última de diseño), si la solicitación no se encuentra dentro de la resistencia de diseño, la columna no será capaz de soportar la solicitación y deberá ser rediseñada. (Ver figura 3)

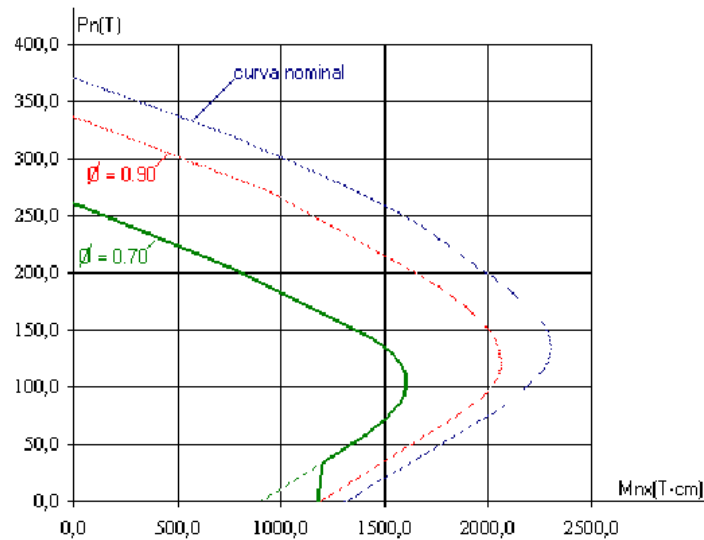


Figura 3. Curva de interacción típica. (Fuente: ESPE, 2010)

5. FASES DE DESARROLLO DEL SOFTWARE

5.1. FASE I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

En esta fase se recopila la información referente a los requisitos mínimos a cumplir y recomendaciones de la NSR-10, en lo que respecta al diseño de elementos en concreto reforzado para las posibles solicitaciones de carga a los que estos se someterán durante su vida útil. Esta fase también contempla la elaboración de diagramas de flujo (ver Anexo A: Diagramas de flujo) donde se muestra de manera resumida el procedimiento de diseño y los chequeos necesarios que se deben llevar a cabo para garantizar el cumplimiento de lo estipulado en la norma.

Además de la recopilación con base en la norma, se realiza una recopilación de los fundamentos teóricos en los que se basa el diseño y análisis de concreto reforzado, esto con el fin de garantizar que las rutinas de programación realizadas cumplan por un lado con los requisitos de la norma y por el otro, que sean correctas de acuerdo a las teorías de diseño.

5.2. FASE II: CODIFICACIÓN

Esta fase hace referencia a la construcción de las rutinas necesarias, de acuerdo a la recopilación de información hecha sobre los procedimientos y requisitos de diseño. Estas rutinas hacen cumplimiento a lo descrito en los diagramas de flujo

para el diseño de cada tipo de elemento con sus respectivos chequeos y análisis. La codificación se lleva a cabo en el lenguaje de programación de Matlab, este lenguaje facilita la creación de funciones para la adquisición de datos desde hojas de cálculo de Excel o desde archivos con extensión .txt; Además facilita en gran medida el análisis numérico de todos los datos de entrada (Solicitaciones y geometría).

5.2.1. Codificación: Integración del software con otras aplicaciones (preprocesadores) para la importación de datos

La importación de datos desde otras aplicaciones permite que el programa pueda integrarse de manera sencilla con otras aplicaciones computacionales; para el caso de este software orientado al diseño, la integración e importación de datos se hace con programas orientados al análisis estructural (SAP y ETABS) que sirven como preprocesadores para las solicitaciones a las que se someterá cada componente estructural, para luego ser diseñados de acuerdo a las especificaciones y metodologías de la NSR-10.

Para llevar a cabo esta integración se crean filtros desde Matlab para el análisis de los resultados presentados por el preprocesador, ya sea desde un archivo con extensión .xls, .xlsx o un archivo de bloc de notas .txt.

5.2.2. Codificación: Integración del software con otras aplicaciones para la presentación de resultados de diseño

Mediante la herramienta de MATLAB "Report Generator" (Mathworks, 2011) se crea una rutina para la posterior creación de un archivo ya sea en extensiones de documento.PDF o .RTF, donde se presentan los resultados obtenidos del diseño de los elementos estructurales (memoria de cálculo).

Para la presentación gráfica de los resultados del diseño se crean detalles estructurales, a partir de un algoritmo creado en Matlab capaz de generar scripts .SCR, compatibles con AutoCAD.

5.3. FASE III: PRESENTACIÓN GRÁFICA

Hace referencia a la programación de la interfaz gráfica de usuario, donde se integran todas las características y funciones, para facilitar el manejo y aplicación del software.

5.4. FASE IV: DOCUMENTACIÓN DEL SOFTWARE

Elaboración de un manual de usuario (ver Anexo B, manual de usuario), donde se explica brevemente la función de cada botón dentro del software y el procedimiento para que se tenga una buena experiencia de usuario. Además se agregan las pruebas de escritorio (ver anexo C, ejercicios de Verificación) donde se comparan los resultados del programa con resultados obtenidos de otras fuentes.

6. CR-LAB

6.1. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

El software CR-LAB es un programa desarrollado en MATLAB a partir de la normativa estipulada en la NSR-10 para el diseño y chequeo de elementos de concreto reforzado, específicamente para vigas, columnas y losas armadas en una dirección, dentro de un entorno gráfico que facilita su manejo. El programa importa datos de análisis provenientes del programa SAP2000 v14 o ETABS v9.5, desde hojas de cálculo con extensión *.xls* o *.xlsx* (SAP 2000) y archivos *.txt* (ETABS) provenientes de ETABS, para el diseño de estructuras en lo que respecta a columnas y vigas. Posterior a la carga de este archivo el programa construye la gráfica tridimensional del modelo importado para facilitarle al usuario el manejo de éste, permitiéndole elegir qué elementos desea verificar individualmente presentándole un cuadro con un resumen del diseño realizado para el elemento seleccionado

Para el caso de losas armadas en una dirección ya sean aligeradas o macizas, el programa cuenta con un algoritmo que analiza estructuralmente el elemento para obtener los diagramas de momento, cortante y deflexiones. Esto depende de las especificaciones que le ingresa el usuario como el número y longitud de las luces, así como los materiales que se emplearán.

Finalmente el programa representa los resultados del diseño para los elementos que el usuario elija en memorias de cálculo en formatos ampliamente usados, como es el caso del PDF y el RTF, además de los detalles estructurales que construye a partir de scripts (.SCR) que son reconocidos fácilmente por programas como AUTOCAD.

6.2. PROCESO BÁSICO PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS A PARTIR DE MODELOS DE ANÁLISIS

Para el correcto funcionamiento del programa, a continuación se muestra el proceso general que el usuario debe seguir para realizar el diseño de vigas y columnas a partir de un modelo de análisis:

1. Selección en la ventana principal de la opción para diseño a partir de datos cargados desde archivo.
2. Se establecen los parámetros generales con los que se diseñarán los elementos, tales como recubrimiento, número de barra para el refuerzo transversal y el nivel de disipación sísmica.
3. Iniciar el diseño o chequeo de la estructura cargada.
4. Especificación del elemento a diseñar entre vigas y columnas.
5. Verificación de datos sobre los elementos deseados (opcional).
6. Cambio de propiedades del elemento (en caso de que la sección inicialmente ingresada no sea suficiente para soportar la solicitación).
7. Selección de elementos para realizar la memoria de cálculo.
8. Definir el archivo que se desea generar a partir de los resultados y secciones seleccionadas (.pdf, .rtf o .scr).

6.3. PROCESO BÁSICO PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOSAS ARMADAS EN UNA DIRECCIÓN

1. Selección en la ventana principal de la opción análisis y diseño de elementos.
2. Se establecen los parámetros y especificaciones generales con los que se diseñarán los elementos, tales como recubrimiento y número de barra para el refuerzo transversal (losa aligerada solamente).
3. Se despliega el panel para la edición de cargas por luz, agregando anchos de apoyos y momentos y especificando los puntos de voladizo.
4. Se inicia el análisis mediante el método de la rigidez para elementos continuos.
5. Se despliega la información referente a los diagramas de solicitación sobre el elemento estudiado.
6. Verificación de datos sobre los elementos deseados.
7. Se muestran los resultados del diseño de acuerdo a las solicitaciones y propiedades definidas del elemento.
8. Definir el archivo que se desea generar a partir de los resultados y secciones seleccionadas (.pdf, .rtf o .scr).

6.4. VENTANA DE INICIO

La ventana de inicio (ver figura 5) le permite al usuario elegir entre dos opciones. La primera es la importación de un modelo con resultados de análisis a partir de SAP 2000 (botón cargar modelo desde archivo) de un archivo con datos de análisis en formato .xls, esto para el diseño de vigas y columnas bajo los requisitos dispuestos en la NSR-10. La segunda es la posibilidad de diseñar un elemento de tipo losa a partir del análisis estructural de éste (botón Iniciar análisis y diseño).

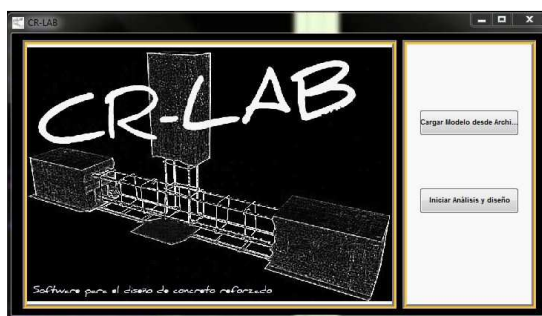


Figura 4. Ventana de inicio CR-LAB.

6.5. CR-LAB PARA EL DISEÑO DE VIGAS Y COLUMNAS

El programa CR-LAB permite el diseño de acuerdo a la NSR-10 para vigas y columnas de concreto reforzado, a partir de datos de análisis obtenidos desde modelos de análisis realizados en SAP2000 o ETABS en hojas de cálculo en formato .xls y .xlsx para el caso de SAP2000 y con archivos en formato .txt para el caso de ETABS (ver figura 6).

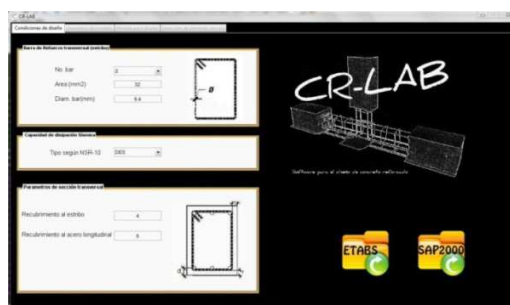


Figura 5. Ventana definición de condiciones y parámetros iniciales de diseño para vigas y columnas.

En la ventana de definición de condiciones y parámetros iniciales de diseño para vigas y columnas, se especifican los parámetros que controlan de manera general el diseño de estos elementos, de esta manera se le solicitan al usuario datos como: el recubrimiento mínimo de concreto para los estribos y refuerzos longitudinales de las secciones tanto de vigas como de columnas, además de la especificación del número de varilla que se usará para los estribos, además de el sistema de disipación sísmica con el que se diseñará la estructura. El botón abrir  despliega la ventana para la carga del archivo con la geometría del modelo y las solicitaciones (ver anexo B- Manual de usuario, para mayor información), ver figura 7.

6.6. VENTANA DE EXPLORACIÓN PARA LA CARGA DEL MODELO

Esta ventana le permite al usuario cargar de manera fácil el archivo necesario para obtener los datos, además facilita la búsqueda de archivos en formato .xls o .xlsx individualmente. Los requisitos para las hojas de cálculo y los datos que éstas deben contener se encuentran explicados en el Manual de usuario (Ver ANEXO B).

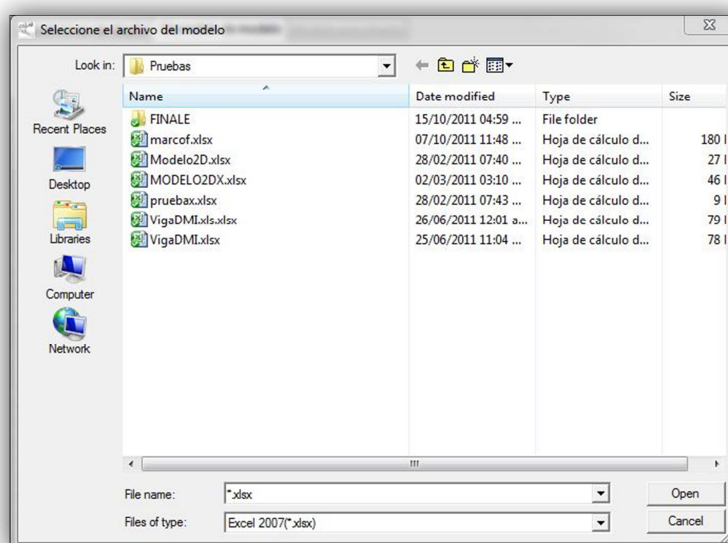


Figura 6. Asistente para la carga de archivos con geometría y solicitaciones del modelo.

6.7. VENTANA PARA EL INGRESO DE VARIABLES ADICIONALES PARA EL DISEÑO Y DESPIECE

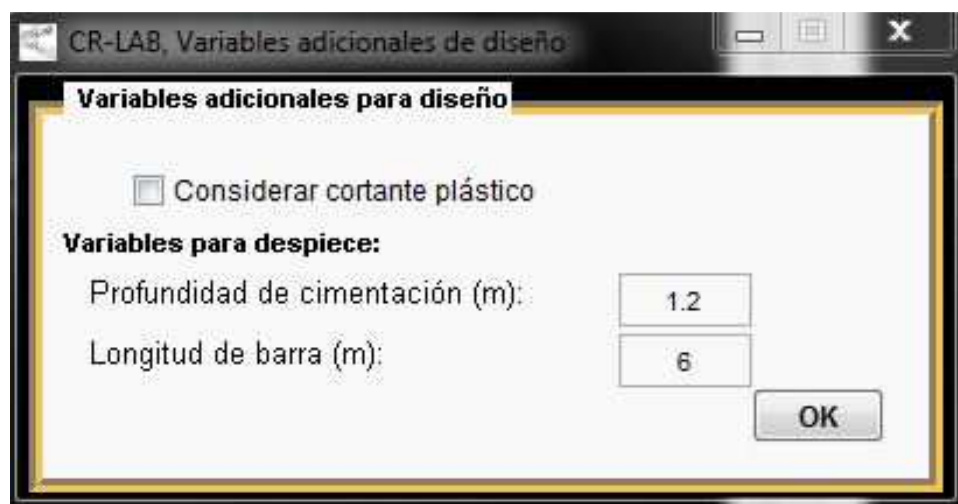


Figura 7. Ventana para la selección y edición de variables adicionales para el diseño.

La ventana para el ingreso y edición de variables adicionales de diseño (ver figura 7), le permite al usuario seleccionar si desea o no considerar el cortante plástico como parámetro para el diseño de los elementos, ya sean vigas o columnas, al seleccionar esta opción se le pide al usuario que seleccione las combinaciones de carga correspondientes para el diseño considerando el cortante plástico (ver ANEXO B). Las variables de despiece permiten editar la profundidad a la que se encuentra la cimentación para el caso de columnas, lo cual se ve reflejado en el despiece de éstas, además la longitud de barra como variable para despiece le da un límite al programa para no generar barras en los despieces con una longitud superior a la seleccionada por el usuario.

6.8. VERIFICACIÓN Y DISEÑO POR ELEMENTO

El submenú para la verificación de resultados (ver figura 8), le permite al usuario acceder a información referente a solicitaciones, especificaciones y a un resumen de diseño por elemento dentro de la estructura. Para acceder a éste basta con presionar el botón derecho del mouse sobre el elemento seleccionado, y elegir la opción deseada entre: solicitaciones, especificaciones y el resumen de diseño.

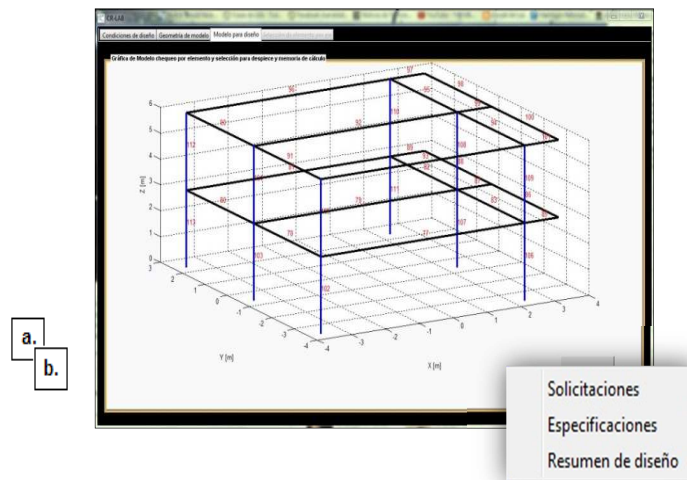


Figura 8. a. Ventana resultados de diseño para el modelo para vigas o columnas, **b.** Submenú para verificación de especificaciones, solicitaciones y diseño.

6.9. MENÚ ESPECIFICACIONES DEL ELEMENTO SELECCIONADO

La ventana especificaciones del elemento (ver figura 9), permite verificar y/o modificar las especificaciones del elemento. El acceso a esta ventana se realiza desde el submenú del elemento en la opción especificaciones, la modificación de las especificaciones se puede realizar usando el botón modificar. Esta modificación puede resultar útil en caso de que la sección original no sea capaz de soportar la solicitación a la que está sometida, facilitando así el dimensionamiento de nuevos elementos capaces de soportar la solicitación. El botón modificar en esta ventana da el acceso a la ventana que permite la edición de éstas características

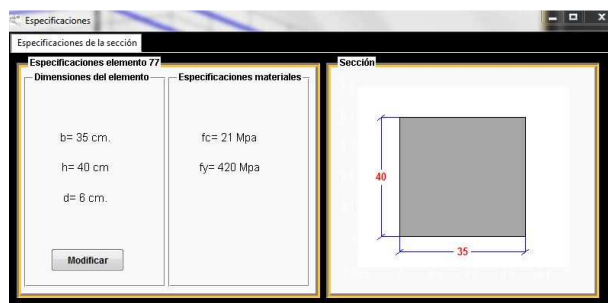


Figura 9. Ventana especificaciones del elemento seleccionado.

6.10. VENTANA SOLICITACIONES SOBRE EL ELEMENTO PARA VIGAS

La ventana de solicitaciones para elementos viga (ver figura 10), permite revisar las solicitaciones a las que está sometido el elemento seleccionado, las pestañas superiores permiten desplazarse entre los diferentes tipos de solicitación a los que estará sometido el elemento, funciona de manera similar para vigas y columnas, (Solicitación flexión, Solicitación Cortante y solicitación de torsión), el funcionamiento de estas ventanas tanto para columnas como vigas, se encuentra descrito en el manual de usuario (ver ANEXO B).

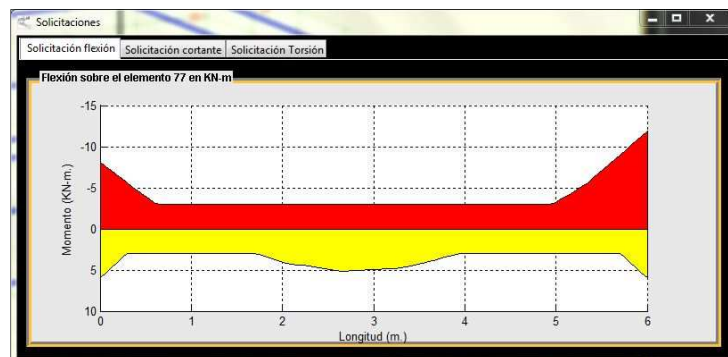


Figura 10. Ventana solicitaciones para elementos viga.

6.11. VENTANA SELECCIÓN ENTRE TIPOS DE LOSA

En esta ventana (ver figura 11) para selección entre losa aligerada y maciza, se le pide al usuario que seleccione el tipo de elemento que se analizará y diseñará.



Figura 11. Ventana para selección entre losa aligerada y maciza.

6.12. ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA LOSA

Las especificaciones y características que el usuario ingresa en esta ventana, resultan de vital importancia para realizar el diseño del refuerzo y cálculo de solicitaciones, pues es donde se especifica la carga y número de luces del elemento, así como la sección y propiedades de ésta. A partir de estos datos se genera la tabla para edición de las características de cada una de las luces, como se muestra en la figura 12.

The screenshot shows a software window titled 'Especificaciones de la losa'. It has three tabs: 'Especificaciones para el análisis y diseño de la losa' (selected), 'Edición cargas', and 'Resumen de diseño'. The main area is divided into three sections:

- Dimensiones de la sección:** Includes a diagram of a rectangular slab with width b and height h . Below the diagram, there are input fields: $b(\text{cm})=100\text{cm}$, 'Espesor de la losa $h(\text{cm})$ =' with a value of 10, and 'Recubrimiento del refuerzo $d(\text{cm})$ =' with a value of 3.
- Materiales:** Includes input fields for 'Resistencia (MPa):' (21), 'Fy(MPA):' (420), and 'Peso Concreto(KN/m3)' (24).
- Cargas en KN-m y # de luces:** Includes input fields for 'Carga muerta (KN/m2):' (10), 'Carga viva (KN/m2):' (3), and 'No. de luces en la losa' (1). An 'OK' button is at the bottom right.

Figura 12. Ventana especificaciones losa maciza.

6.13. VENTANA PARA LA EDICIÓN DE LUCES QUE COMPONEN EL ELEMENTO

The screenshot shows the same software window, but with the 'Edición cargas' tab selected. The main area is titled 'Datos por luz' and contains a table with the following data:

Luz	Longitud	W_u (KN/m)	W_s (KN/m)	Condición de apoyo	Momento Carga P voladizo
1	1	13.83	12.88	Empotrado	
2	1	13.83	12.88	Simple	
3	1	13.83	12.88	Simple	

To the right of the table is another table with columns 'Apoyo' and 'Ancho apoyo m.':

Apoyo	Ancho apoyo m.
1	0.3000
2	0.3000
3	0.3000
4	0.3000

An 'OK' button is located at the bottom right of the window.

Figura 13. Ventana Edición de cargas por luz y anchos de apoyo.

Esta ventana de edición (ver figura 13) le permite al usuario cambiar cargas, longitudes de luz, cargas para diseño y anchos de apoyo. Con los datos obtenidos de esta ventana, se generan los diagramas de solicitaciones (momento, cortante y deflexión) sobre el elemento (ver figura 14).

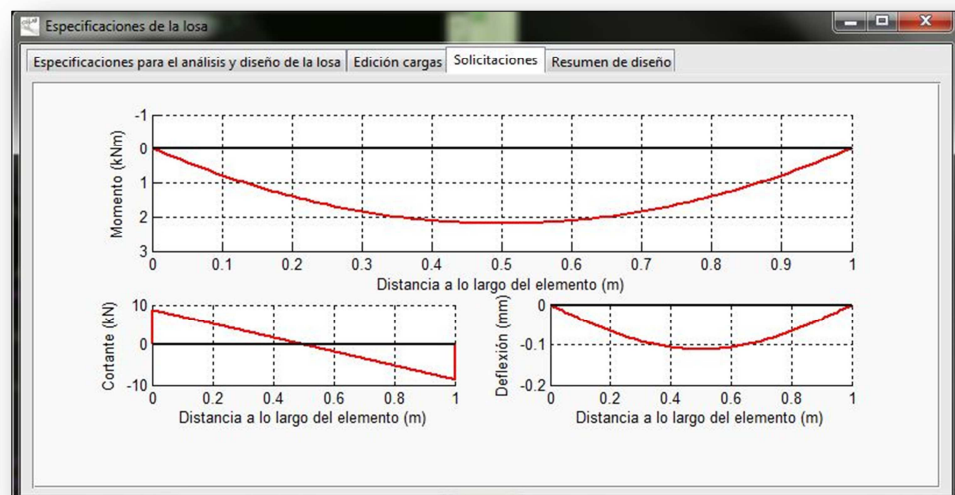


Figura 14. Solicitaciones del elemento.

6.14. VENTANAS DE RESUMEN DE DISEÑO

Estas ventanas muestran el resumen del diseño realizado para el elemento deseado, en ellas se muestran los ISE, así como las configuraciones de barra finales del elemento, todo esto a partir de los datos finales de diseño. Para el caso de columnas (Ver figura 15), se adiciona además el diagrama de interacción con el que se realizó el diseño, permitiéndole al usuario revisar su contenido que depende de las combinaciones de carga y ángulos que el usuario desee. En el caso de las vigas (ver figura 16), se le da al usuario información acerca del refuerzo longitudinal y transversal final, así como un esquema de la sección transversal con la configuración de barras para la solicitación máxima sobre el elemento.

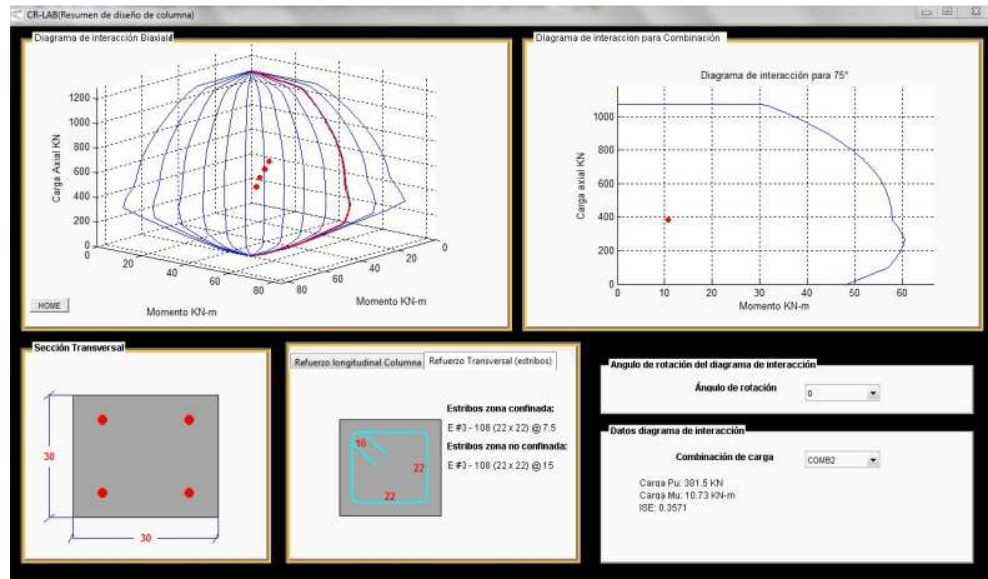


Figura 15. Ventana resumen de resultados de diseño para columna.

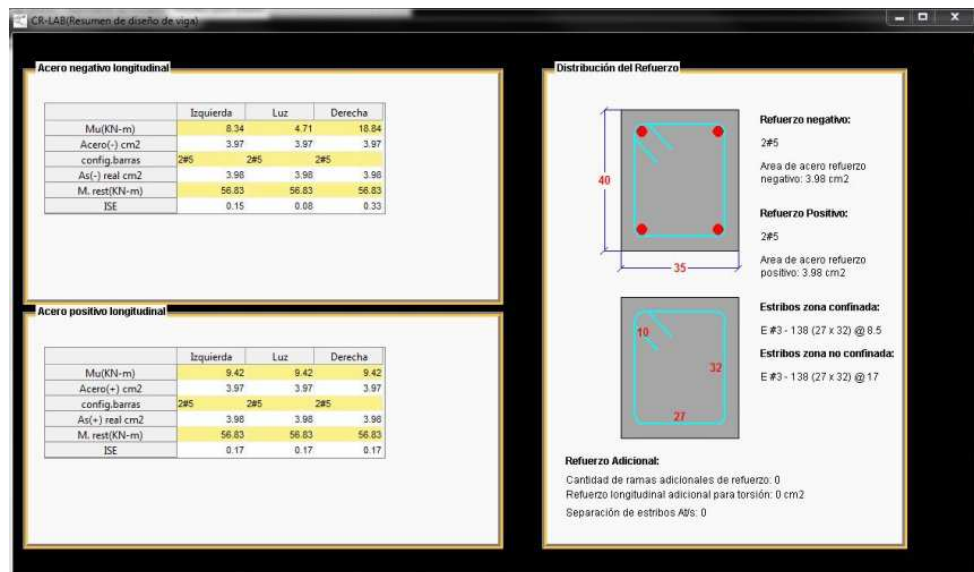


Figura 16. Ventana de resumen para los resultados del diseño para Vigas.

6.15. VENTANA PARA SELECCIÓN DE ARCHIVO DE SALIDA:

Éste es el último paso del proceso realizado por CR-LAB, esta ventana (ver figura 17) le ofrece al usuario la opción de escoger entre 3 archivos de salida de resultados. Para memorias de cálculo los formatos de archivo de texto .rtf y .pdf,

donde se incluyen los resultados de diseño para las secciones y elementos deseados por el usuario, así como el archivo con extensión .scr que le permite al usuario crear un esquema en AutoCAD de los elementos deseados con el refuerzo final obtenido con CR-LAB (para más información ver el ANEXO B).



Figura 17. Ventana para selección del archivo de salida.

Los botones muestran informes por separado, en los formatos mostrados en cada uno de ellos. La ventana se mantiene estática en su posición hasta que el usuario desee cerrarla. Se permite la creación de cada uno de los informes por separado.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Con este proyecto de grado se logró desarrollar un programa en MATLAB, orientado al diseño de vigas, columnas y losas de concreto reforzado; con la finalidad de servir como una herramienta computarizada de diseño y presentación de resultados de éste, facilitando así la presentación de resultados en memorias de cálculo en formatos .PDF, .RTF y scripts (.SCR) para la creación de detalles estructurales compatibles con AutoCAD.
- Se creó una interfaz gráfica de fácil manejo, a partir de las herramientas que posee MATLAB, además se creó una aplicación para facilitar la importación de datos de análisis estructurales a partir de SAP2000 y ETABS, con la finalidad de hacer del programa una herramienta capaz de integrarse con programas de análisis estructural reconocido.
- Con este trabajo se logró la implementación de un software orientado a cumplir con los requisitos y recomendaciones de la norma colombiana de diseño NSR-10, capaz de integrarse con los resultados de SAP2000 y ETABS para la extracción de datos, y que además sea capaz de presentar estos diseños en memorias de cálculo y esquemas de detalles estructurales en AutoCAD.
- Se obtuvieron resultados muy aproximados entre las pruebas de escritorio y los resultados obtenidos con el programa. La diferencia entre los resultados del programa y los cálculos realizados a mano no superaron el 1%, por lo tanto los algoritmos dentro del programa para diseño, generan resultados dentro de lo esperado y de acuerdo a la NSR-10 como se había previsto.
- El análisis de las losas armadas en una dirección, se modeló como un elemento continuo, y se realizó mediante la aplicación del método de la rigidez aplicado dentro de un algoritmo en MATLAB. Los resultados que se obtuvieron mediante esta modelación se encuentran dentro de lo esperado con resultados de análisis muy aproximados a los obtenidos manualmente o en programas como SAP2000 con diferencias no superiores al 1%.

7.2. RECOMENDACIONES

Con la integración de un programa de análisis estructural dentro del algoritmo de diseño de CR-LAB, se podría realizar un análisis y diseño conjunto de la estructura que además de eliminar la dependencia con el preprocesador, haría del programa una herramienta de mayor utilidad al funcionar como una suite de análisis y diseño.

Se recomienda hacer un análisis más extenso del comportamiento de los elementos, donde se incluya momento curvatura y el diseño de nudos, así como también chequeo del criterio columna fuerte viga débil, con el fin de crear un complemento en lo que respecta al diseño de estructuras de concreto reforzado. Como complemento adicional, se recomienda la implementación de una herramienta para la cuantificación de cantidades de obra de la estructura para los elementos estructurales que se diseñaron.

En próximos trabajos resultaría de gran utilidad la inclusión dentro del programa de diseño de algoritmos para optimización de las secciones de concreto y selección de barras de refuerzo conjunta, donde se tengan en cuenta los costos, esto con el fin de minimizarlos, además se recomienda la inclusión de un módulo para el análisis y diseño de muros de cortante fabricados en concreto reforzado.

BIBLIOGRAFÍA

AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica), 1998. *Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente: NSR-98*. Bogotá, AIS.

AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica), 2010. *Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente: NSR-10*. Bogotá, AIS.

Charif, A., 2011. *Biaxial bending in columns*, [en línea] Disponible en: <<http://faculty.ksu.edu.sa/charif/Documents/Columns-Biaxial.pdf>> [Consultada en junio 5 del 2011].

CSI (Computers & Structures), 2010a. *Computers and Structures Inc. (CSI)*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.csiberkeley.com/>>. [Consultada en julio 17 del 2010].

CSI (Computers & Structures), 2010b. *ETABS overview*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.csiberkeley.com/etabs>>. [Consultada en julio 13 del 2010].

CSI (Computers&Structures), 2010c. *SAFE overview*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.csiberkeley.com/safe>>. [Consultada en julio 13 del 2010].

CSI (Computers&Structures), 2010d. *SAP2000 overview*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.csiberkeley.com/sap2000>>. [Consultada en julio 13 del 2010].

CYPE Ingenieros, 2011. *CYPECAD*. [En línea]. Disponible en: <<http://cypecad.cype.es/>>. [Consultada en noviembre diciembre 6 del 2011].

DDS (Diseño de Soluciones-Desarrollo de software), 2011. *DC-CAD Planos constructivos de vigas, columnas y muros*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.dds.com.co/productos/dc-cad.html>>. [Consultada en Septiembre 2 del 2011].

ESPE (Escuela politécnica del ejército, Ecuador), 2010. *La flexocompresión en los elementos de hormigón armado*. [En línea]. Disponible en: <<http://publiespe.espe.edu.ec/academicas/hormigon/hormigon11-a.htm>>. [Consultada en Agosto 28 del 2011].

Guerrero, P., Martinez, J., 2004. *Fundamentos de concreto reforzado (de acuerdo a la NSR-98)*. Cali, Facultad de ingeniería Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Hibbeler, R.C., 1997. *Análisis estructural*. 3ra. Ciudad de México, editorial Prentice Hall Hispanoamérica S.A.

Larraín, A., Yañez, F., Verdugo, C., 2006. *Manual de cálculo de hormigón armado en base al código ACI 318-05*. 2da. ed. Santiago de Chile, Gerdau AZA S.A.S.

Mathworks, 2011. *MATLAB Report Generator*. [en línea] Disponible en: <http://www.mathworks.com/products/ML_reportgenerator/> [Consultada en noviembre 24 del 2011].

McCormac, J.C, 2002. *Diseño de concreto reforzado*. 4ta. ed. Clemson, editorial John Wiley & Sons.

Nilson, A. H., 2001. *Diseño de estructuras de concreto*. 12ma. ed. Nueva York: McGraw-Hill.

Park, R. y Paulay, T., 1978. *Reinforced concrete structures*. 1ra. ed., Christchurch, editorial John Wiley & Sons.

Parker, H. y Ambrose, J. ed., 2008. *Diseño simplificado de concreto reforzado*. 3a ed. México, editorial Limusa Wiley.

PROKON, 2011. *Concrete design*. [en línea]. Disponible en: <<http://www.prokon.com/structural/concrete-design>>. [Consultada en noviembre 2 del 2011].

Rochel, R., 2007. *Hormigón reforzado*. 1ra. ed. Medellin, Universidad EAFIT.

Velasco, E., 2001. *Un breve curso de FORTRAN*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.uam.es/departamentos/ciencias/fisicateoricamateria/especifica/hojas/like/FORTRAN/FORTRAN.html>>. [Consultado el 15 de junio del 2010].

ANEXO A. Diagramas de flujo.

ANEXO A: DIAGRAMAS DE FLUJO

1. Diseño general de Vigas:

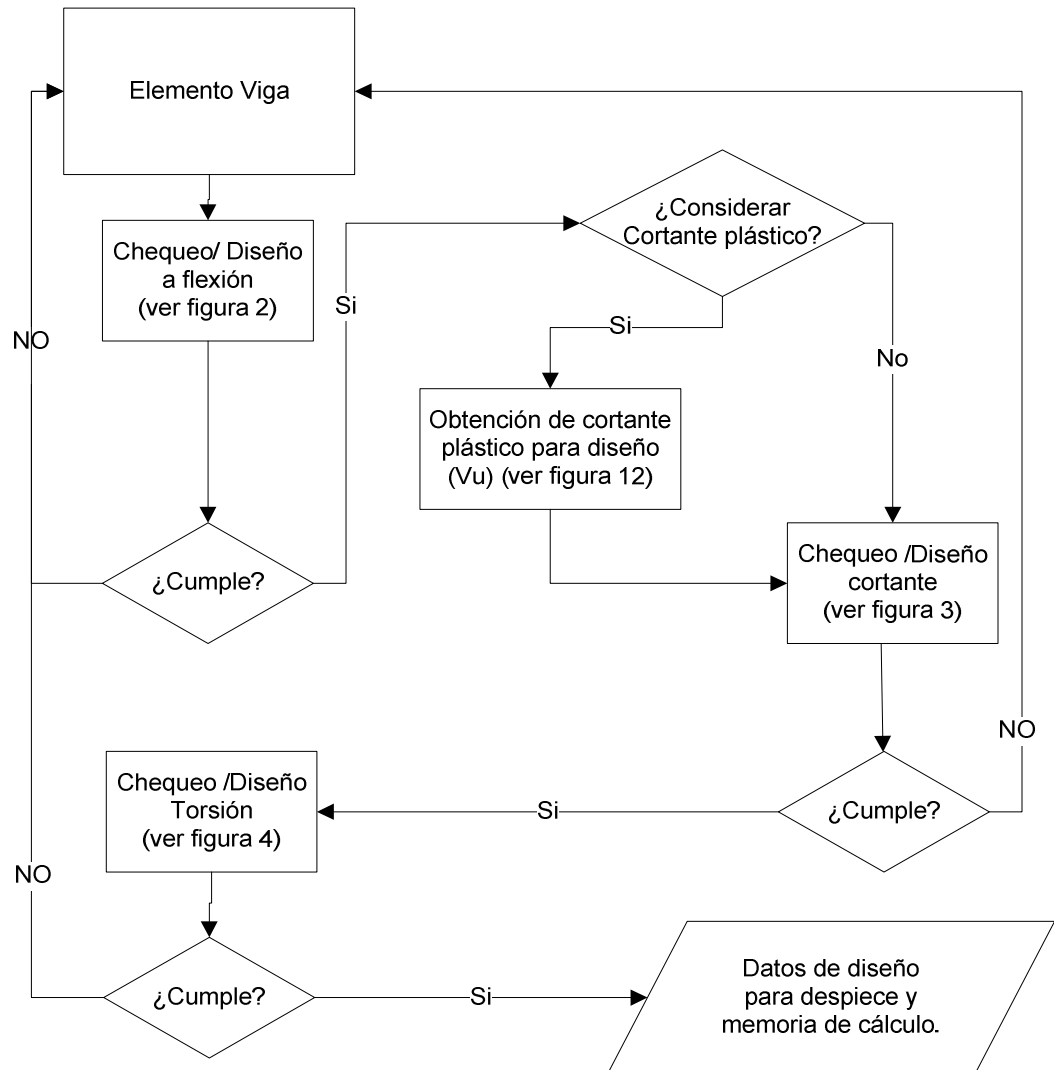


Figura 1, Proceso general de diseño de vigas

1.1. DISEÑO A FLEXIÓN

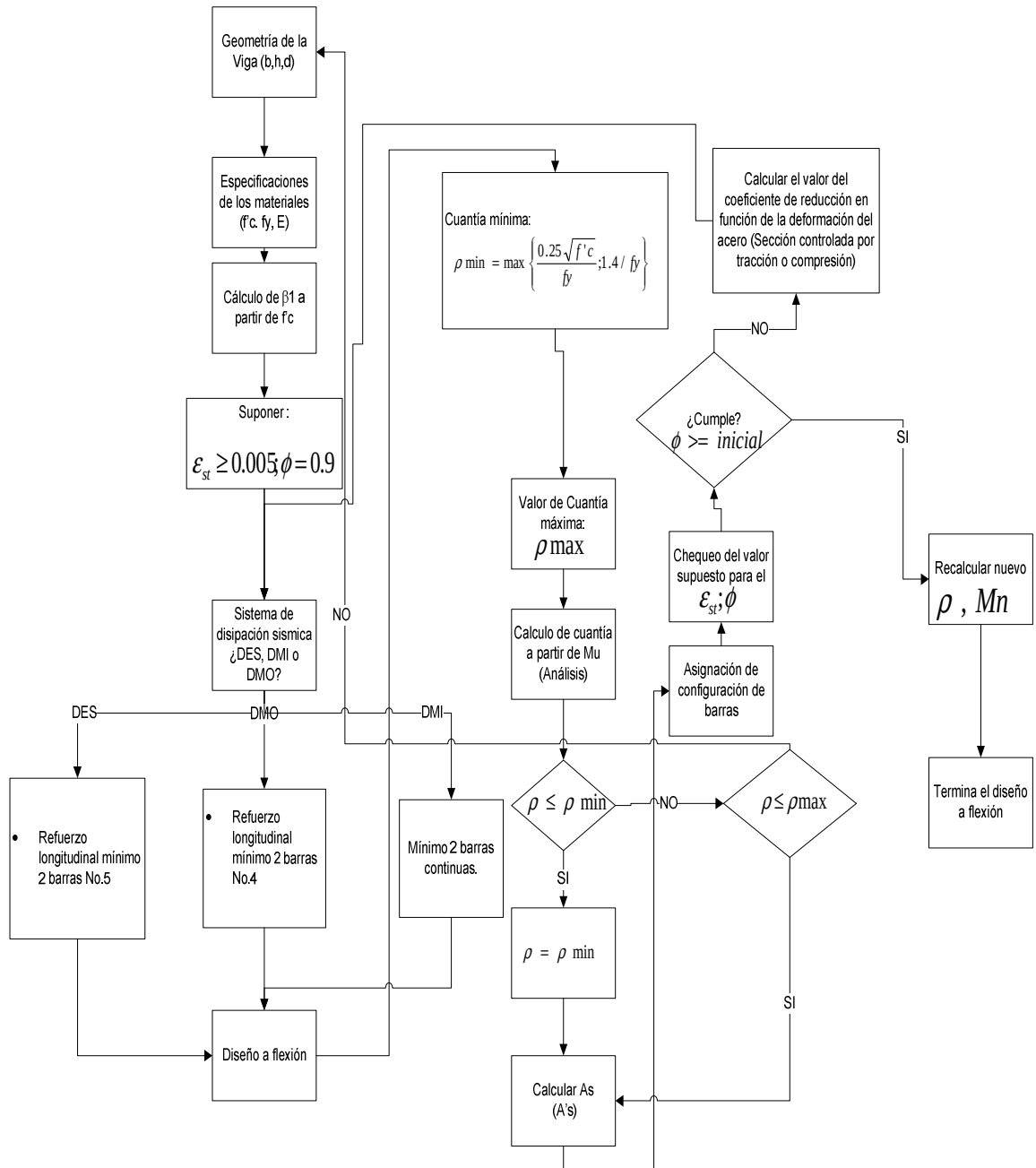


Figura 2. Proceso diseño a flexión

1.2. DISEÑO A CORTANTE:

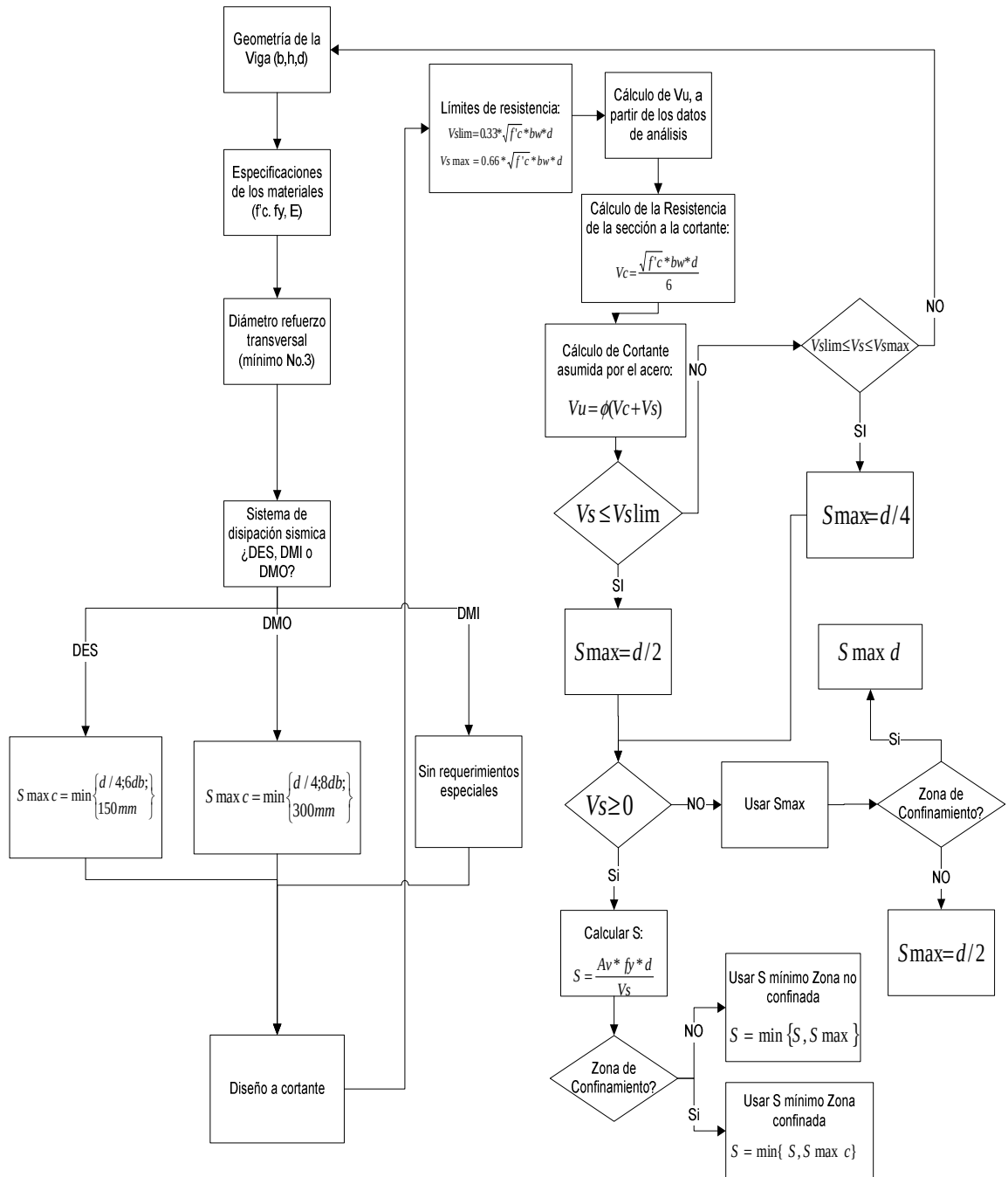


Figura 3. Proceso para el diseño a cortante

1.3. DISEÑO A TORSIÓN:

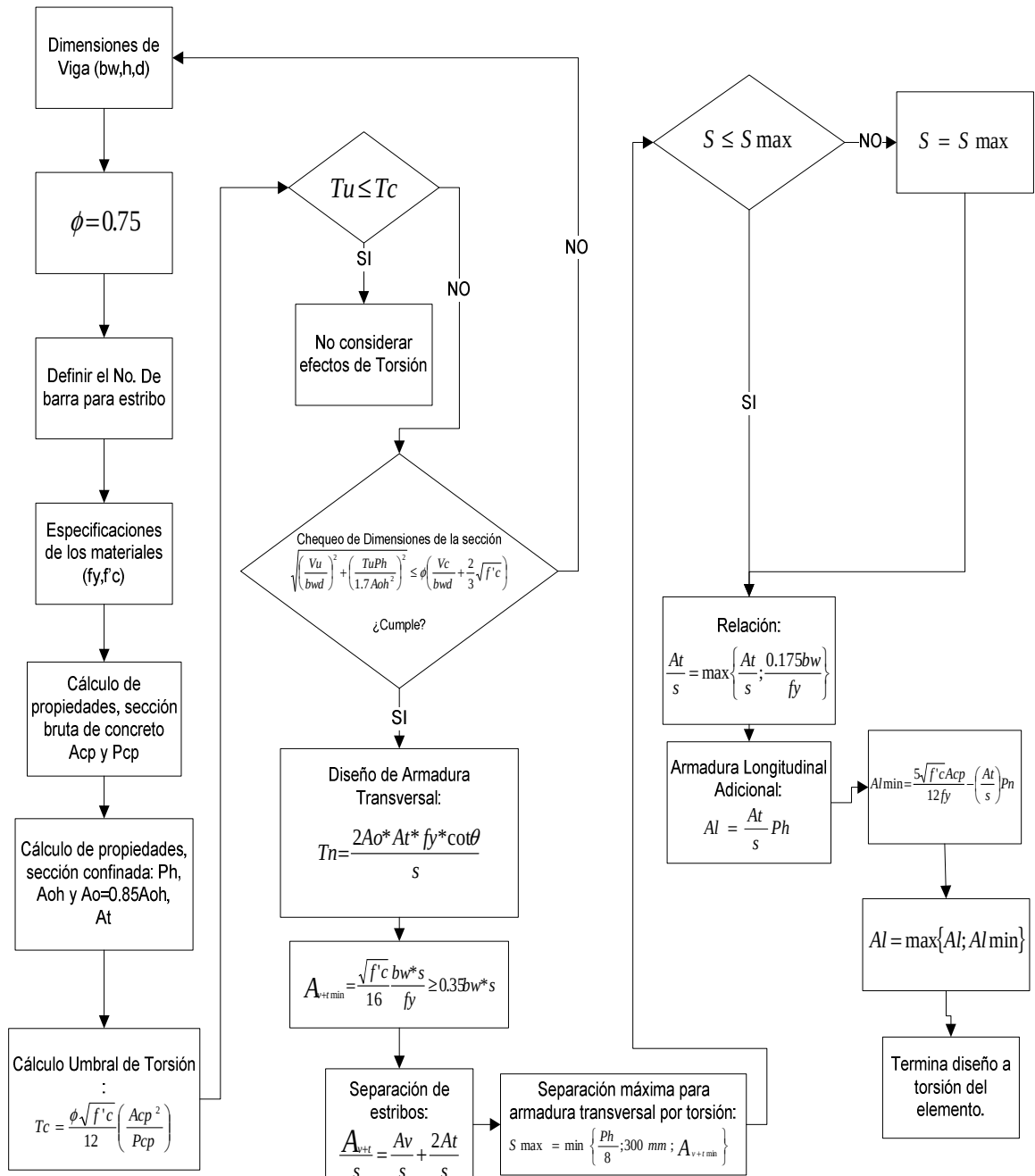


Figura 4. Proceso para el diseño a torsión

2. DISEÑO GENERAL DE COLUMNAS

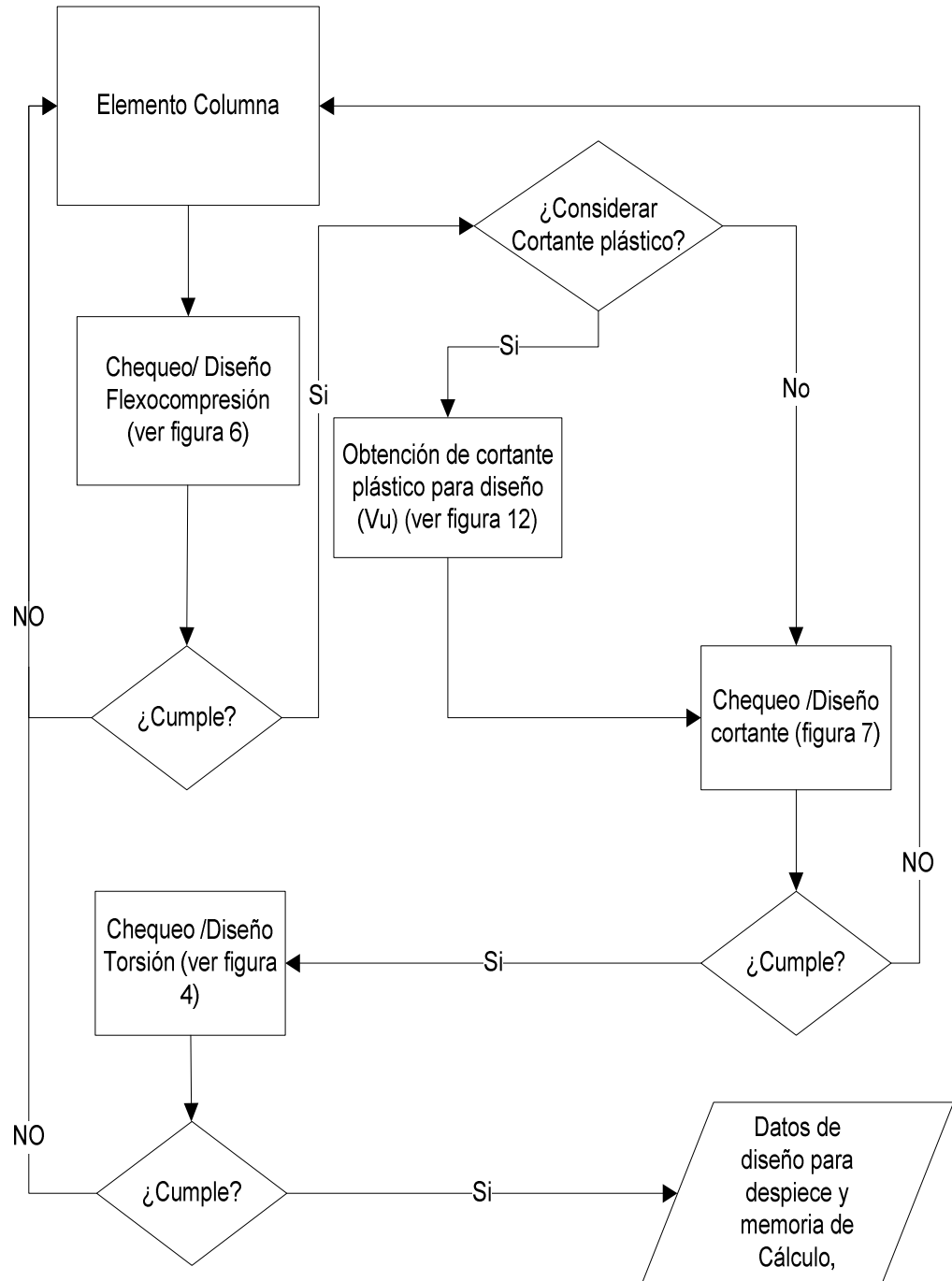


Figura 5. Proceso general de diseño de columnas.

2.1. DISEÑO Y CHEQUEO DE FLEJO COMPRESIÓN PARA COLUMNA.

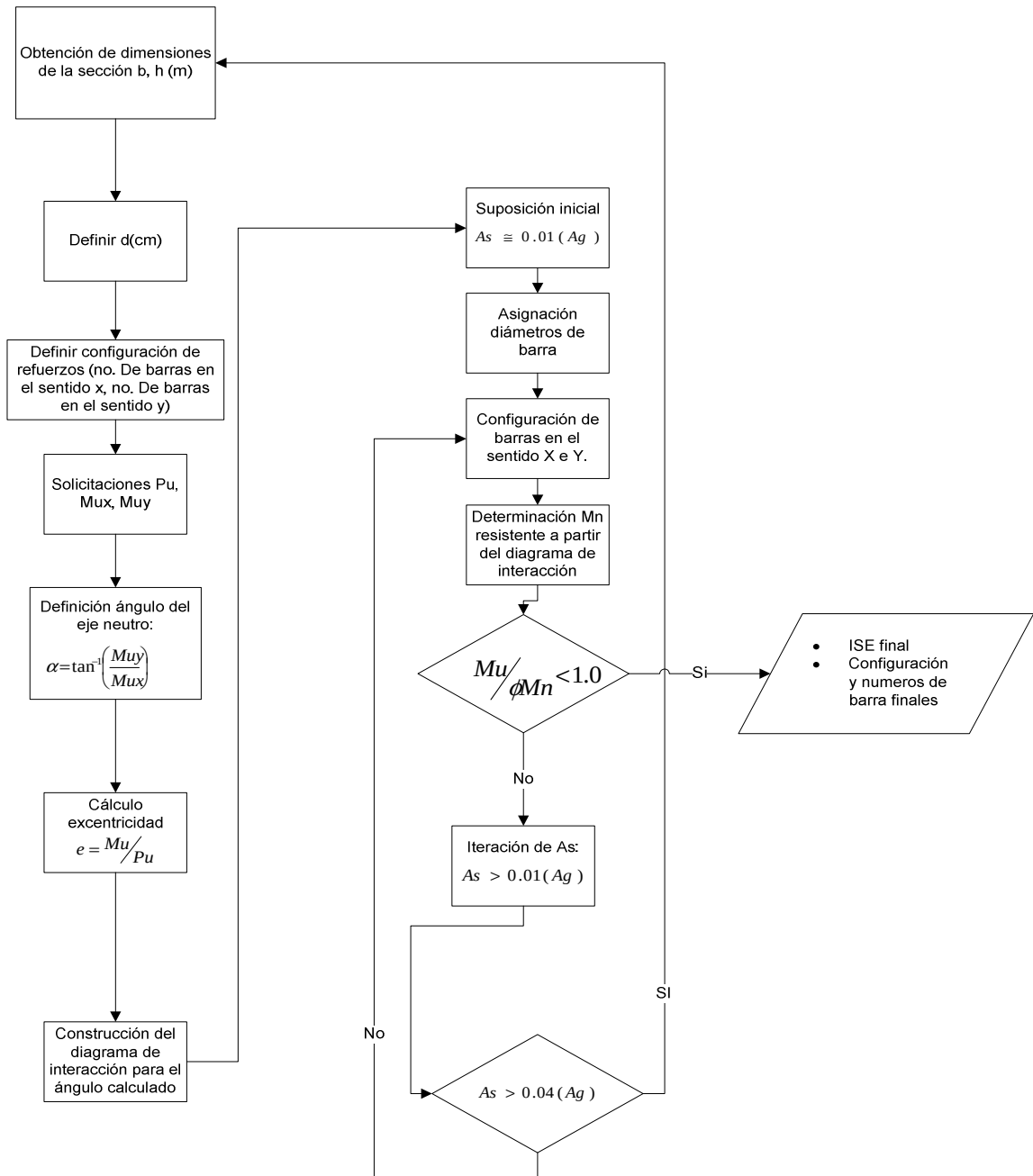


Figura 6. Diseño flexo compresión para columna.

2.2. DISEÑO A CORTANTE PARA COLUMNA:

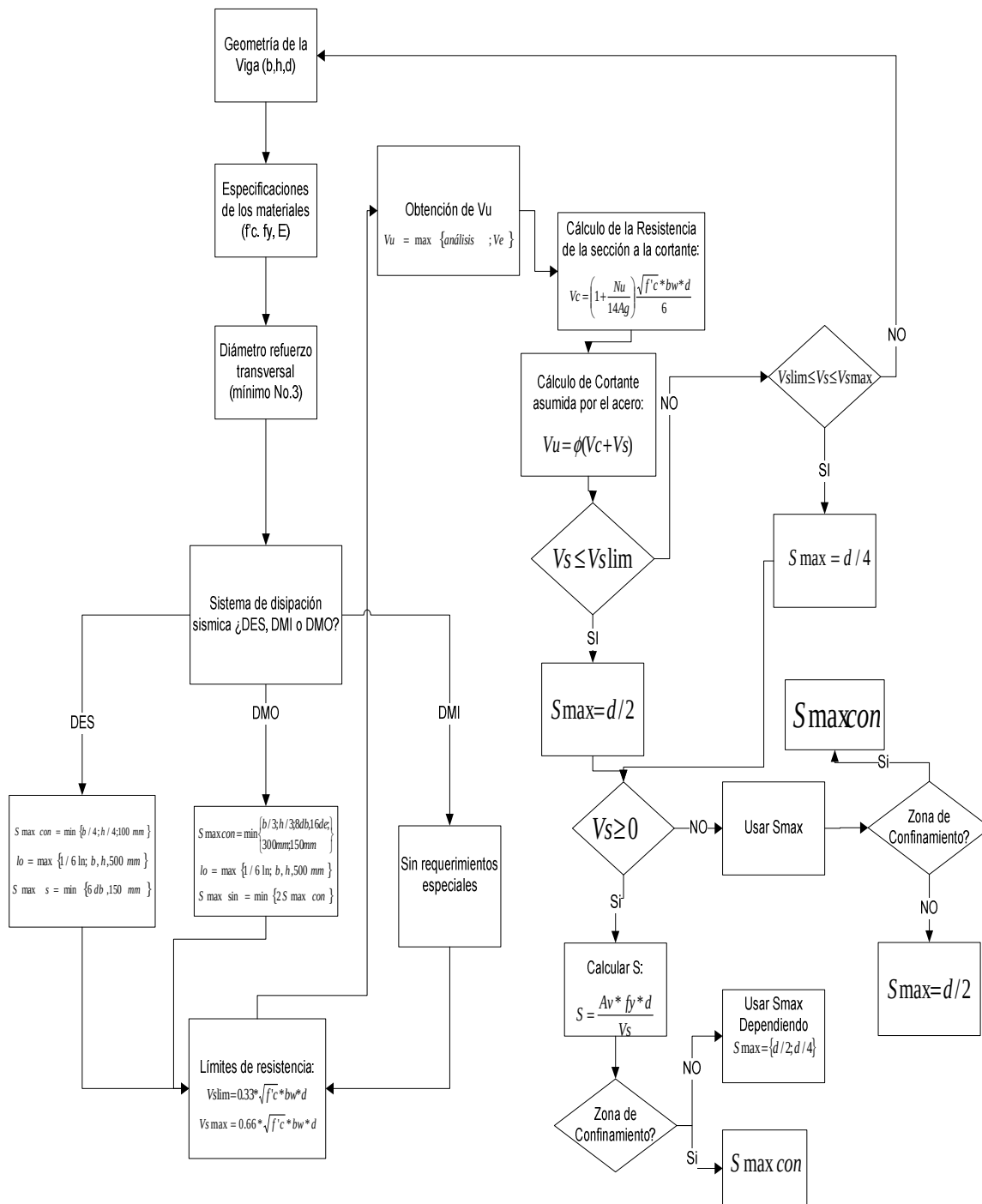


Ilustración 7. Diseño a cortante para columna.

3. DISEÑO DE LOSAS MACIZAS EN UNA DIRECCIÓN:

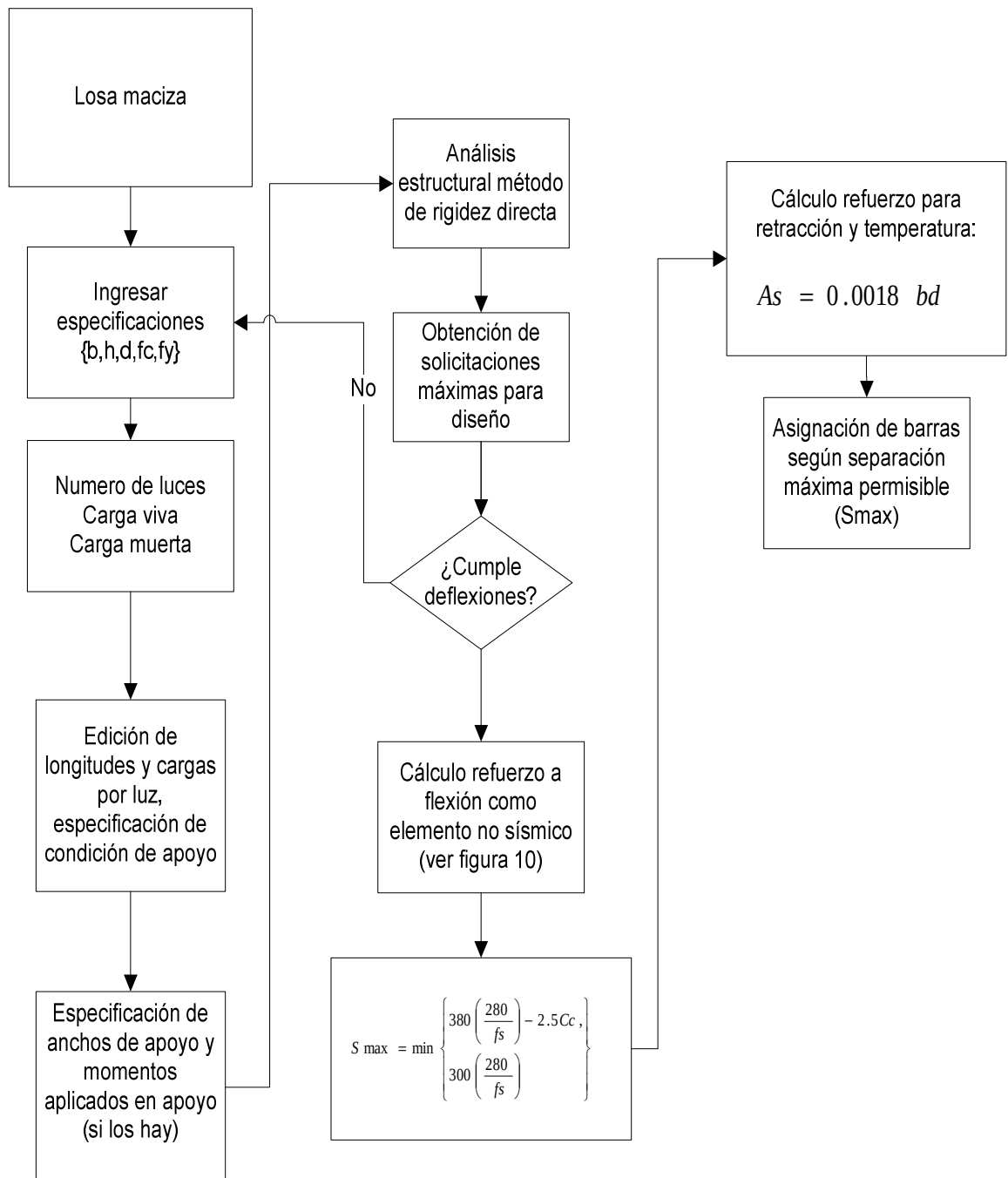


Ilustración 8. Diseño para losa maciza.

4. DISEÑO LOSA ALIGERADA EN UNA DIRECCIÓN:

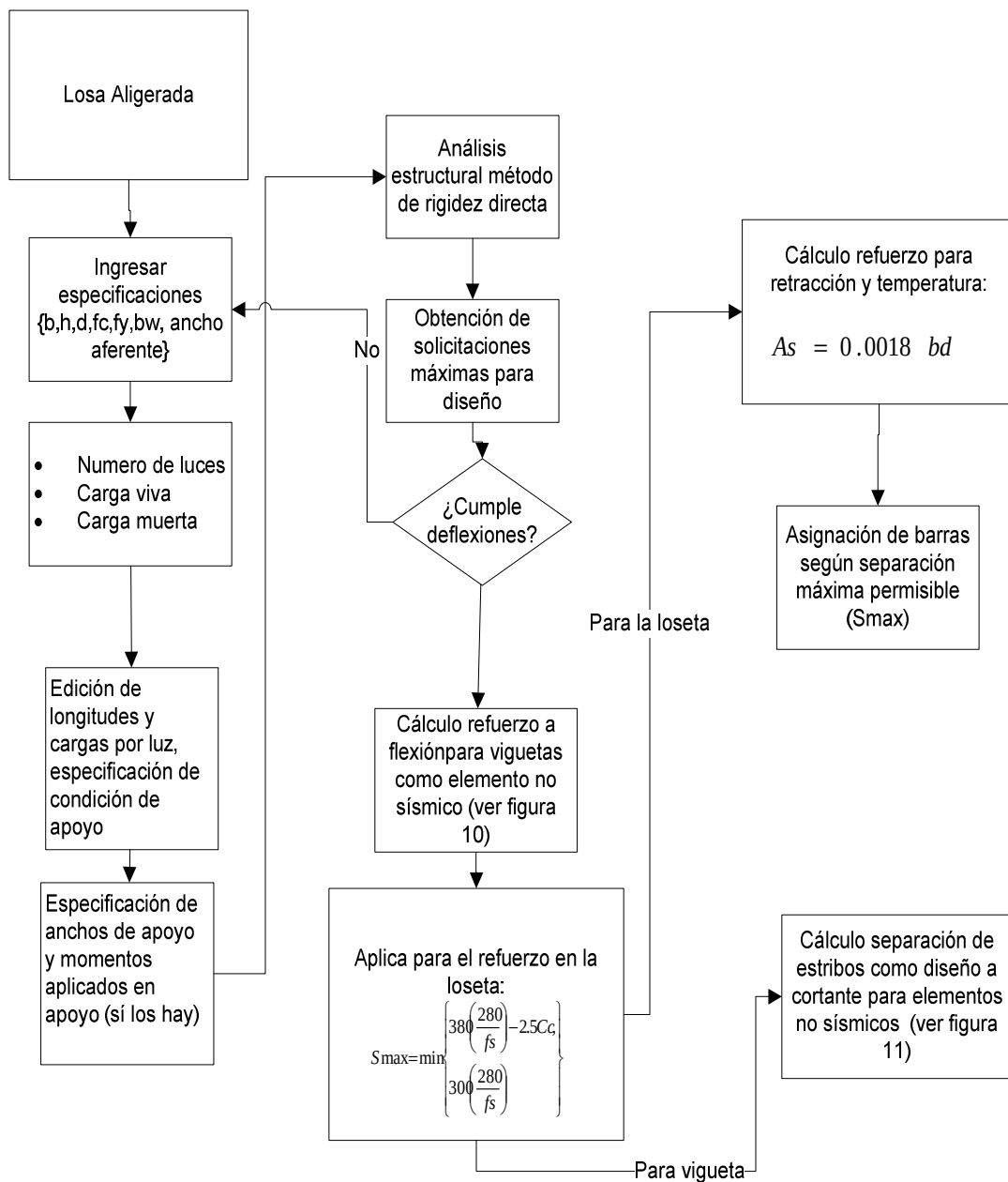


Figura 9. Diseño de losa aligerada.

4.1. DISEÑO A FLEXIÓN PARA ELEMENTOS NO SÍSMICOS

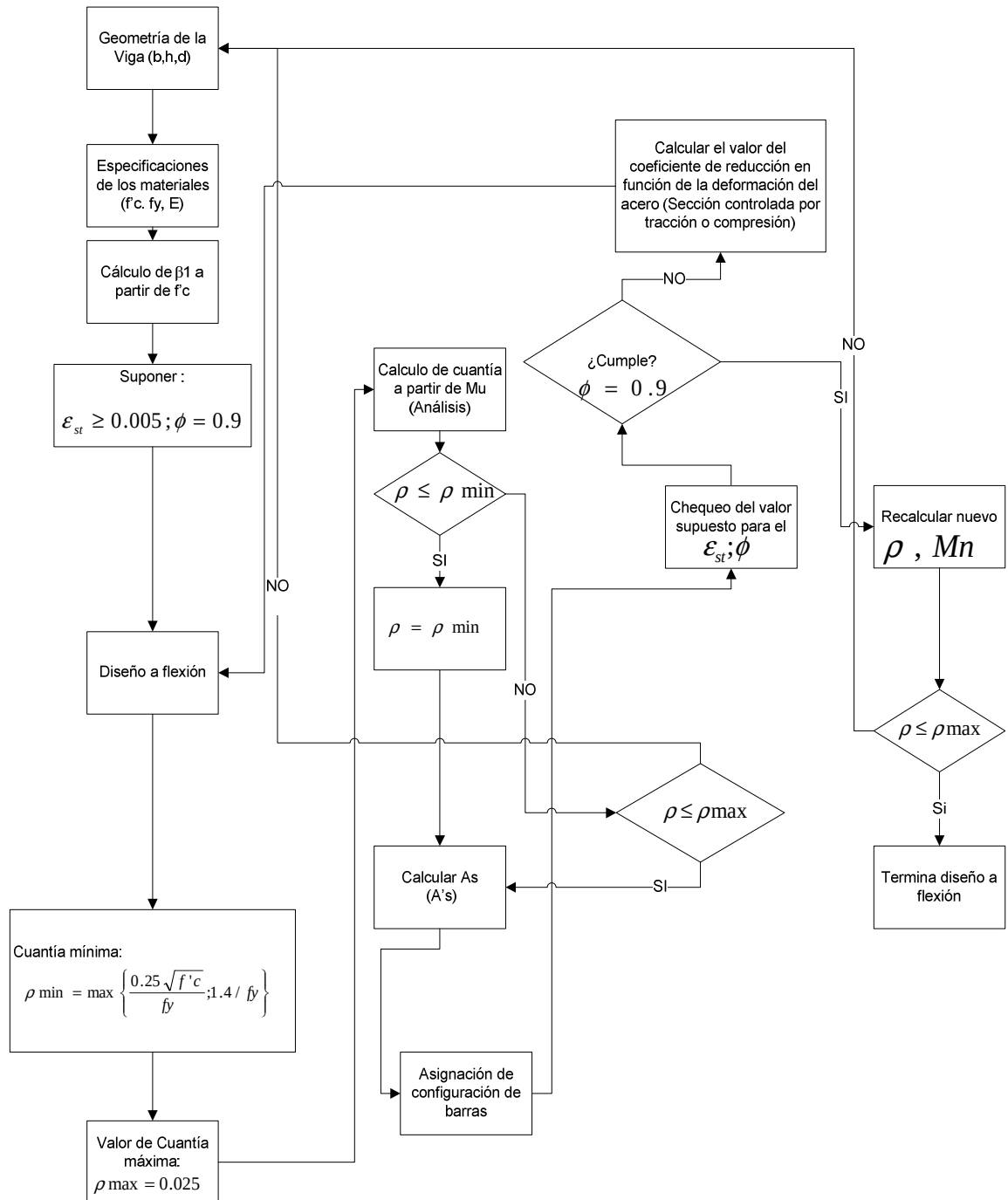


Figura 10. Flexión elementos no sísmicos.

4.2. DISEÑO A CORTANTE PARA ELEMENTOS NO SÍSMICOS

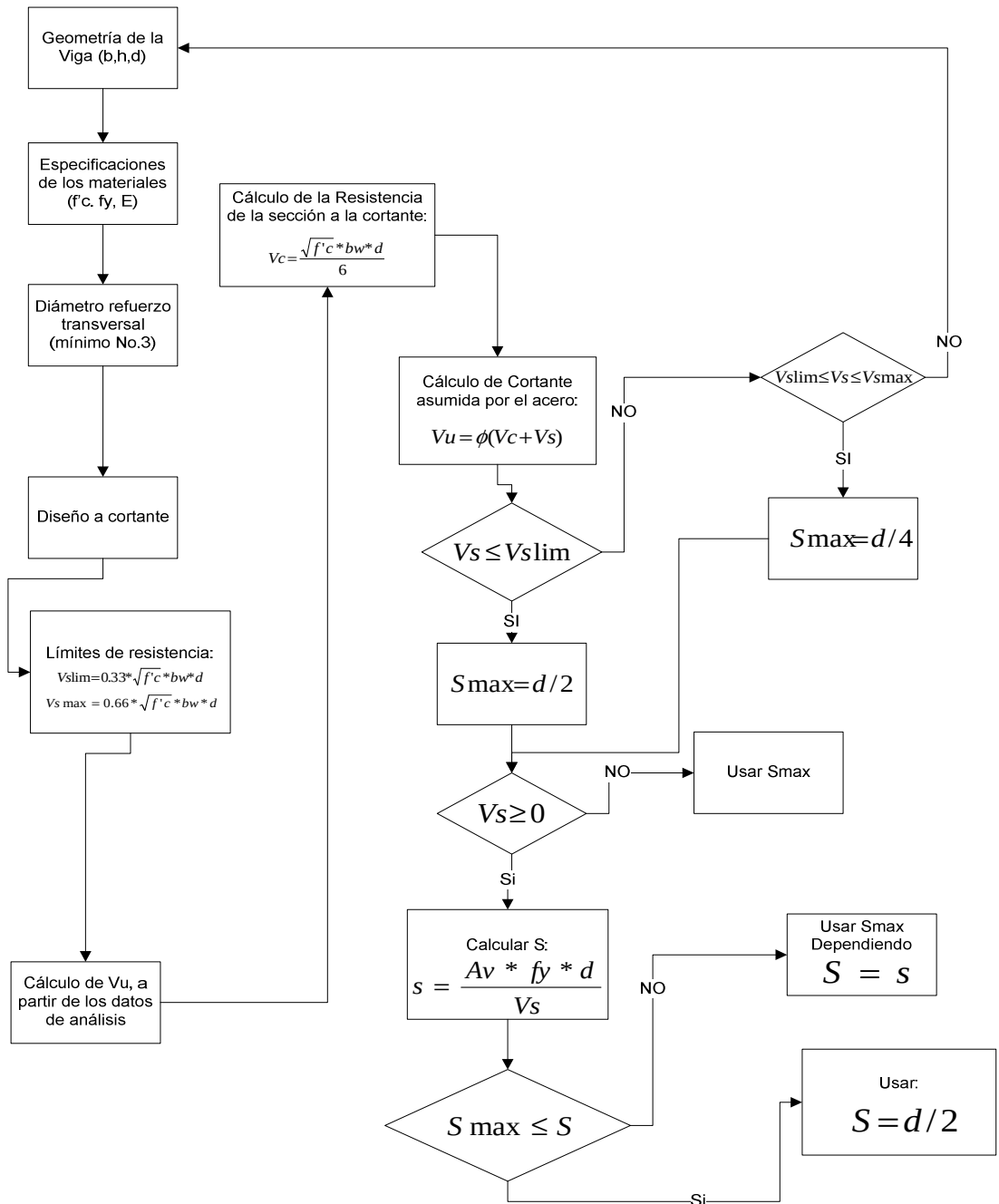


Figura 11. Cortante elementos no sísmicos.

4.3. OBTENCIÓN DE CORTANTE PLÁSTICO

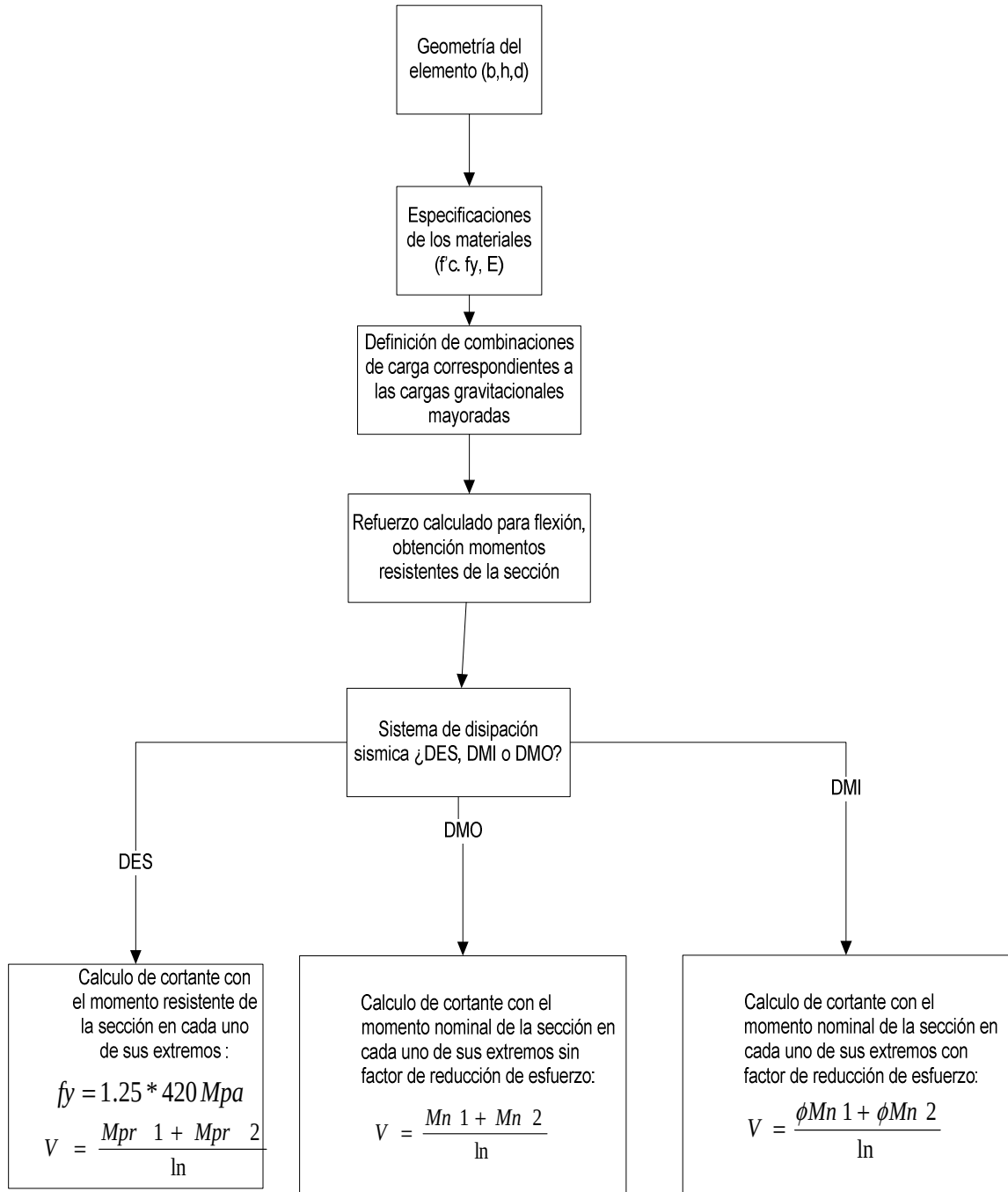


Figura 12. Cortante plástico para los elementos.

ANEXO B. Manual de usuario.

CR-LAB

Manual de Usuario

CONTENIDO

1.	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE CR-LAB	44
1.1.	PROCESO BÁSICO PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS A PARTIR DE MODELOS DE ANÁLISIS	44
1.2.	PROCESO BÁSICO PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOSAS ARMADAS EN UNA DIRECCIÓN	45
2.	VENTANA DE INICIO CR-LAB:	45
3.	CR-LAB PARA EL DISEÑO DE VIGAS Y COLUMNAS	46
3.1.	VENTANA PARA EL INGRESO DE VARIABLES ADICIONALES PARA EL DISEÑO Y DESPIECE	47
3.2.	CARGANDO MODELOS DE ANÁLISIS:	48
3.3.	SELECCIONANDO ENTRE VIGAS Y COLUMNAS:	50
3.4.	VERIFICACIÓN/DISEÑO POR ELEMENTO:	51
3.5.	Menú especificaciones del elemento seleccionado:	52
3.6.	Ventana <i>solicitaciones</i> sobre el elemento para vigas	53
3.7.	Ventana <i>solicitaciones</i> sobre el elemento para vigas	54
3.8.	Menú resumen de <i>diseño</i> para columnas	55
3.9.	Ventana resumen de <i>diseño</i> para vigas	56
3.10.	Selección de ejes	57
3.11.	CR-LAB PARA EL DISEÑO DE LOSAS MACIZAS Y ALIGERADAS EN UNA DIRECCIÓN	59
3.12.	CR-LAB Datos losa aligerada	59
3.13.	CR-LAB Edición para análisis	60
3.14.	CR-LAB Datos losa maciza	61
3.15.	CR-LAB Edición para análisis:	62
3.16.	CR-LAB SELECCIÓN DE DATOS DE SALIDA	62
4.	RESULTADOS DE ESQUEMAS EN AUTOCAD A PARTIR DEL ARCHIVO SCR: ...	63
	ANEXO C. Ejercicios de verificación.	66
	ANEXO C: EJERCICIOS DE VERIFICACIÓN	67
1.	Diagrama de interacción:	67
1.1.	Análisis de un elemento continuo:	69

2.	Diseño de elementos estructurales de una edificación desde modelo de análisis:....	70
2.1.	Diseño de la Viga Eje A-piso 1(SAP 2000)	71
2.1.1.	Diseño a Flexión del elemento sobre el eje A:	71
2.1.2.	Diseño a Cortante del elemento sobre el eje A:	74
2.1.3.	Diseño a Torsión del elemento sobre el eje A:.....	75
2.2.	Diseño de la columna 1-A piso 1 y 2, desde el modelo de SAP 2000:	76
2.2.1.	Diseño flexocompresión de la sección:	77
2.2.2.	Diseño a cortante para la sección:.....	78

1. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE CR-LAB

El software CR-LAB es un programa desarrollado en MATLAB a partir de la normativa estipulada en la NSR-10 para para el diseño y chequeo de elementos de concreto reforzado, específicamente para vigas, columnas y losas armadas en una dirección, dentro de un entorno gráfico que facilita su manejo. El programa importa datos de análisis provenientes del programa SAP2000 v14 o ETABS v9.5, desde hojas de cálculo con extensión *.xls* o *.xlsx* (*SAP 2000*) y archivos *.txt* (*ETABS*) provenientes de *ETABS*, para el diseño de estructuras en lo que respecta a columnas y vigas. Posterior a la carga de este archivo el programa construye la gráfica tridimensional del modelo importado para facilitarle al usuario el manejo de éste permitiéndole elegir qué elementos desea verificar individualmente presentándole un cuadro con un resumen del diseño realizado para el elemento seleccionado

Para el caso de losas armadas en una dirección ya sean aligeradas o macizas, el programa cuenta con un algoritmo que analiza estructuralmente el elemento para obtener los diagramas de momento, cortante y deflexiones. Esto depende de las especificaciones que le ingresa el usuario como el número y longitud de las luces, así como los materiales que se emplearán.

Finalmente el programa representa los resultados del diseño para los elementos que el usuario elija en memorias de cálculo en formatos ampliamente usados, como es el caso del PDF y el RTF, además de los detalles estructurales que construye a partir de scripts (*.SCR*) que son reconocidos fácilmente por programas como AUTOCAD.

1.1. PROCESO BÁSICO PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS A PARTIR DE MODELOS DE ANÁLISIS

Para el correcto funcionamiento del programa, a continuación se muestra el proceso general que éste sigue para realizar el diseño de vigas y columnas a partir de un modelo de análisis:

1. Selección en la ventana principal de la opción para diseño a partir de datos cargados desde archivo.
2. Se establecen los parámetros generales con los que se diseñarán los elementos, tales como recubrimiento número de barra para el refuerzo transversal y el nivel de disipación sísmica.
3. Iniciar el diseño y chequeo de la estructura cargada.
4. Especificación del elemento a diseñar entre vigas y columnas.

5. Verificación de datos sobre los elementos deseados (opcional).
6. Cambio de propiedades del elemento (en caso de que la sección inicialmente ingresada no sea suficiente para soportar la solicitación).
7. Selección de elementos por eje para realizar la memoria de cálculo.
8. Definir el archivo que se desea generar a partir de los resultados y secciones seleccionadas (.pdf, .rtf o .scr).

1.2. PROCESO BÁSICO PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOSAS ARMADAS EN UNA DIRECCIÓN

1. Selección en la ventana principal de la opción análisis y diseño de elementos.
2. Se establecen los parámetros y especificaciones generales con los que se diseñarán los elementos, tales como recubrimiento número de barra para el refuerzo transversal (losa aligerada solamente).
3. Se despliega el panel para la edición de cargas por luz, agregando anchos de apoyos y momentos y especificando los puntos de voladizo.
4. Se inicia el análisis mediante el método de la rigidez para elementos continuos.
5. Se despliega la información referente a los diagramas de solicitación sobre el elemento estudiado.
6. Verificación de datos sobre los elementos deseados.
7. Se muestran los resultados del diseño de acuerdo a las solicitaciones y propiedades definidas del elemento.
8. Definir el archivo que se desea generar a partir de los resultados y secciones seleccionadas (.pdf, .rtf o .scr).

2. VENTANA DE INICIO CR-LAB:

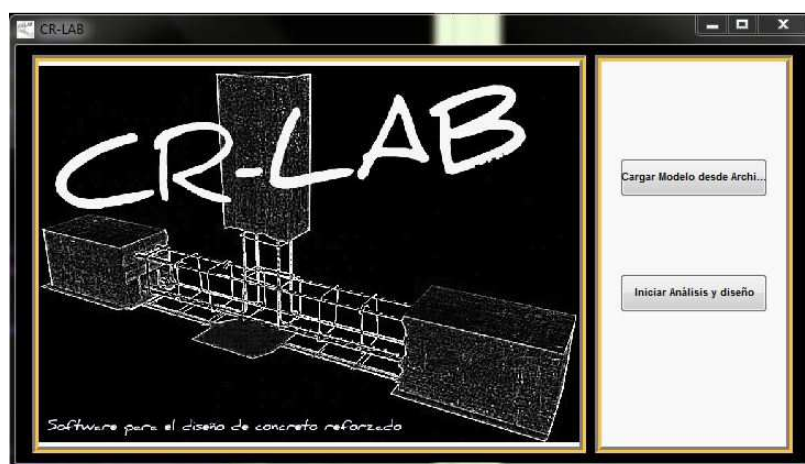


Figura 18. Ventana de inicio CR-LAB.

La ventana de inicio le permite al usuario elegir entre 2 opciones. La primera es la importación de un modelo con resultados de análisis a partir de SAP 2000 (botón cargar modelo desde archivo) Cargar Modelo desde Archivo de un archivo con datos de análisis en formato .xls, esto para el diseño de vigas y columnas bajo los requisitos dispuestos en la NSR-10., Y la segunda es la posibilidad de diseñar un elemento de tipo losa a partir del análisis estructural de éste (botón Iniciar análisis y diseño) Iniciar Análisis y diseño.

3. CR-LAB PARA EL DISEÑO DE VIGAS Y COLUMNAS

El programa *CR-LAB* permite el diseño de acuerdo a la *NSR-10* para vigas y columnas de concreto reforzado, a partir de datos de análisis obtenidos desde modelos de análisis realizados en *SAP2000* o *ETABS* en hojas de cálculo en formato .xls y .xlsx para el caso de *SAP2000* y con archivos en formato .txt para el caso de *ETABS*.

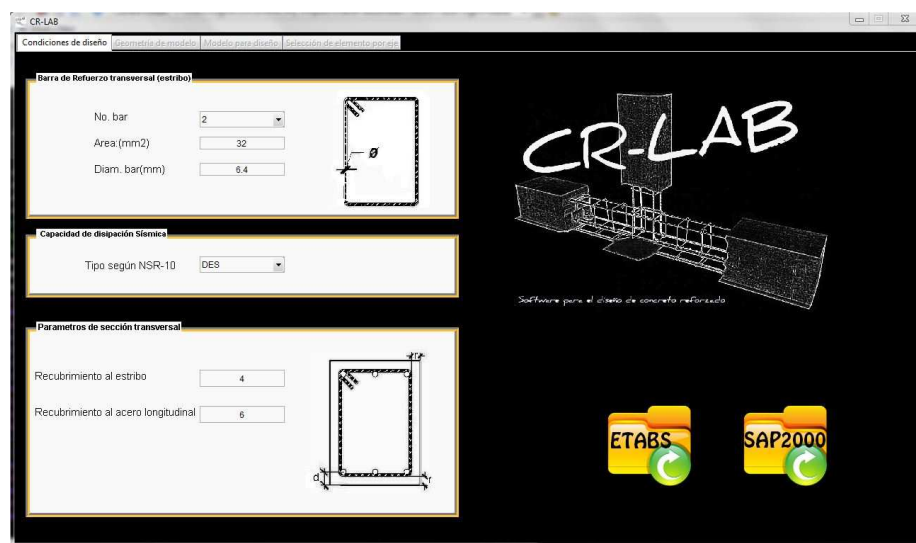


Figura 2. Ventana definición de condiciones y parámetros iniciales de diseño para vigas y columnas.

En la ventana de definición de condiciones y parámetros iniciales de diseño para vigas y columnas, se especifican los parámetros que controlarán de manera general el diseño de estos elementos, de esta manera se le solicitan al usuario

datos como: el recubrimiento mínimo de concreto para los estribos y refuerzos longitudinales de las secciones tanto de vigas como de columnas, además de la especificación del número de estribo que se usará para los diseños en general, y el sistema de disipación sísmica con el que se diseñará la estructura. Los botones abrir  en sus dos presentaciones SAP2000 y ETABS representados por el icono en la parte inferior derecha le sirve al usuario como herramienta para la importación de los datos de análisis a partir de un archivo con resultados de análisis donde se incluya la geometría del modelo y las solicitaciones sobre cada uno de los elementos, donde se encuentra la geometría de la estructura además de las solicitaciones que ésta tiene en cada uno de sus elementos, estos botones despliegan una ventana de exploración que le permite al usuario especificar la ubicación del archivo según sea el caso (ETABS o SAP2000) que se utilizará para el diseño, ver figura 5.

3.1. VENTANA PARA EL INGRESO DE VARIABLES ADICIONALES PARA EL DISEÑO Y DESPIECE

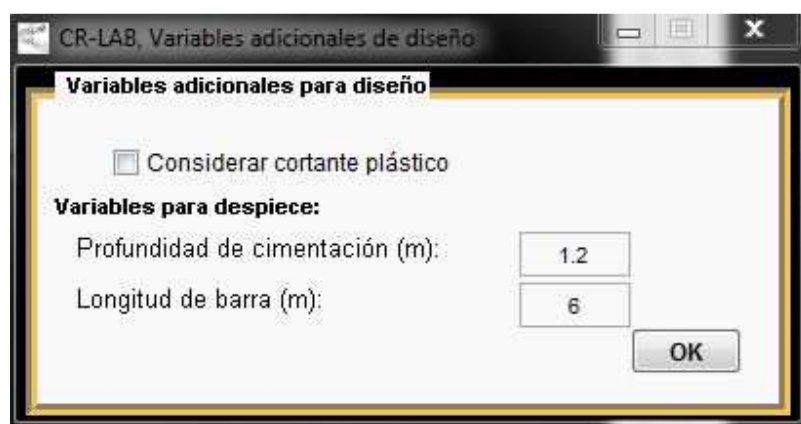


Figura 3 Ventana para la selección y edición de variables adicionales para el diseño.

La ventana para el ingreso y edición de variables adicionales de diseño (ver figura 3), le permite al usuario seleccionar si desea o no considerar el cortante plástico como parámetro para el diseño de los elementos, ya sean vigas o columnas, al seleccionar esta opción se le pide al usuario que seleccione las combinaciones de carga correspondientes para el diseño considerando el cortante plástico (ver figura 4), estas combinaciones corresponden a las usadas para analizar el modelo ya

sea de SAP2000 o ETABS. Las variables de despiece permiten editar la profundidad a la que se encuentra la cimentación para el caso de columnas, lo cual se ve reflejado en el despiece de éstas, además la longitud de barra como variable para despiece le da un límite al programa para no generar barras en los despieces con una longitud superior a la seleccionada por el usuario.

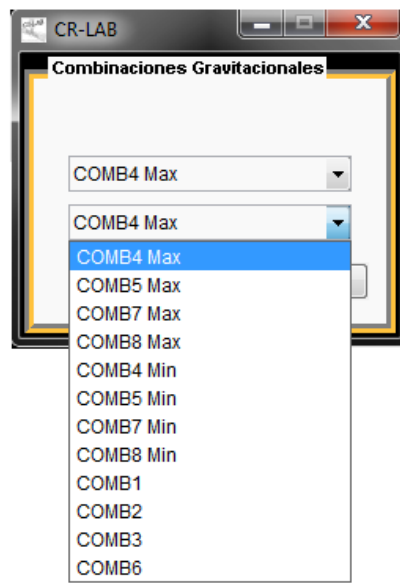


Figura 4. Selección de combinaciones de carga para el cortante plástico.

3.2. CARGANDO MODELOS DE ANÁLISIS:

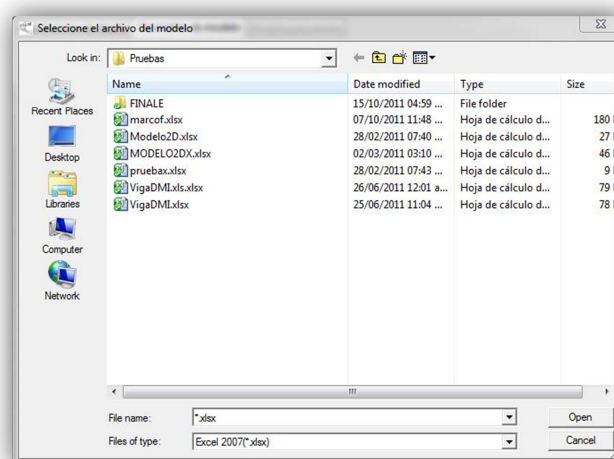


Figura 5. Asistente para la carga de archivos con geometría y solicitaciones del modelo.

El explorador para la carga de resultados de análisis (ver figura 6) provenientes del preprocesador (**SAP2000**) funciona para hojas de Excel en formato 2003 (.xls) o 2007 (.xlsx) y hojas en formato .txt (ETABS). La hoja de cálculo debe contener la información en unidades de KN (Kilonewtons) para fuerza y metros para la longitud, además el modelo de análisis debe contener por lo menos una combinación de carga definida. Adicional a lo anterior se recomienda usar modelos con por lo menos once puntos de análisis sobre cada elemento, todos los elementos deben tener el mismo número de puntos de análisis (Output stations); las hojas de cálculo con las que debe contar la hoja de Excel para el correcto funcionamiento de CR-LAB con archivos de **SAP2000**, son:

- Coordenadas de los nodos que forman la estructura ('JointCoordinates').
- Los datos de conectividad que especifican la configuración de los nodos ('Connectivity - Frame').
- Resultados del análisis estructural por elemento, solicitaciones de momento, carga axial, cortante y torsión para cada uno de los elementos que componen la estructura ('ElementForces - Frames').
- En caso de que haya más de una combinación de carga se debe cargar la hoja con la designación de combinaciones de carga ('CombinationDefinitions').
- Datos de la asignación para cada elemento el tipo de sección transversal (dimensiones especificadas en el programa de análisis estructural). ('Frame Section Assignments', 'Frame Props 01 - General').
- Hoja con los datos y especificaciones correspondientes a la resistencia del concreto ('MatProp 03b - Concrete Data').

Para análisis realizados en **ETABS**, se necesitan dos archivos en formato .txt correspondientes a “input” y “analysis output” creados a partir de la opción: print tables > input... y print tables > Analysis output; en estos dos archivos vienen definidas la geometría y las solicitaciones del modelo de análisis respectivamente. Los campos que se deben seleccionar para el funcionamiento apropiado de CR-LAB son:

Para el Input (*Printed Input Tables*):

- En el panel *Building Data* en la pestaña *Definitions*, se deben seleccionar los siguientes campos:
 - o Story Data
 - o Point Coordinates
 - o Line Connectivity

- En el panel *Properties* en la pestaña *Definitions*, se deben seleccionar los campos:
 - o Materials
 - o Frame Section
 - o En el panel *Line Assignments* en la pestaña *ASSIGNMENTS*, se debe seleccionar únicamente el campo:
 - o Frame Sections

Para el Analysis Output (*Print Output Tables*):

- En el panel *Type of Analysis Results*, se deben seleccionar los campos correspondientes a:
 - o *Frame Forces*, no se requiere seleccionar más campos.
 - o En el botón *Select Loads*, se debe seleccionar por lo menos una combinación de carga.

3.3. SELECCIONANDO ENTRE VIGAS Y COLUMNAS:

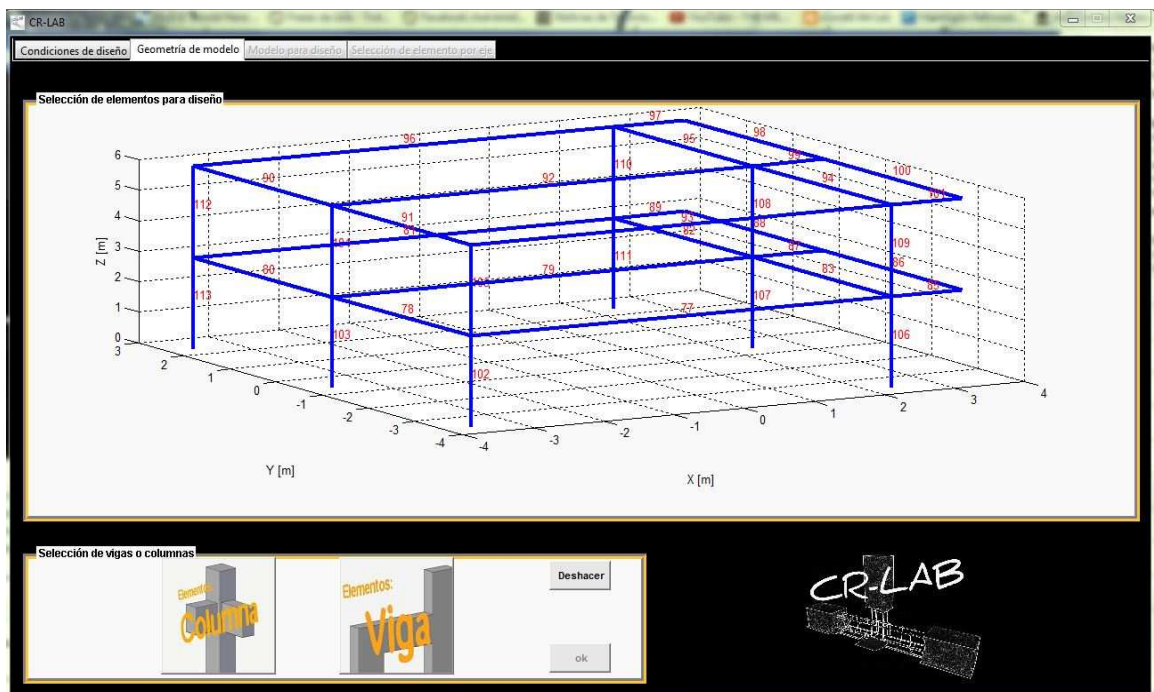


Figura 6. Ventana selección de vigas o columnas del modelo cargado.

La ventana de selección de vigas o columnas del modelo cargado, sirve como una vista gráfica para el usuario que le permite ver de manera gráfica la estructura que se importó a partir del modelo. Además sirve para elegir entre vigas mediante el uso de los botones dentro del panel “Selección de vigas o columnas” que permiten una selección general de elementos entre vigas (botón para selección vigas ) y columnas (botón para selección columnas ) , la gráfica además permite observar la selección por elemento que se realizó al resaltar el tipo de secciones seleccionadas en el modelo.

-  Botón para seleccionar columnas del modelo.
-  Botón para seleccionar Vigas del modelo.

3.4. VERIFICACIÓN/DISEÑO POR ELEMENTO:

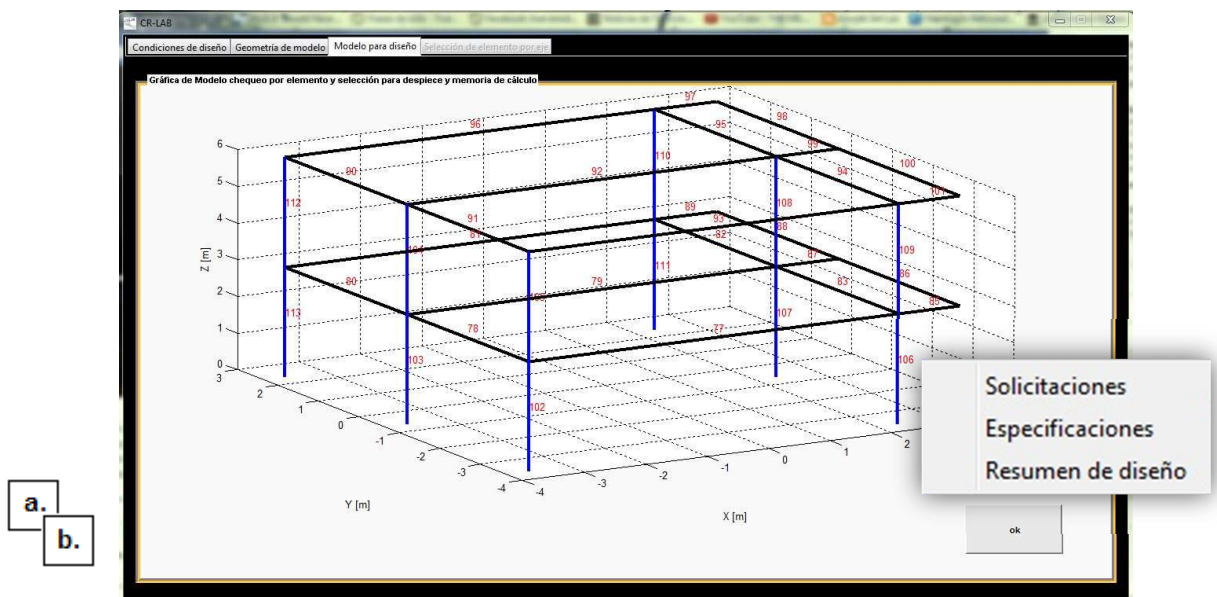


Figura 7. a. Ventana resultados de diseño para el modelo para vigas o columnas, **b.** submenú para verificación de especificaciones, solicitaciones y diseño.

El submenú para la verificación de resultados, solicitaciones y especificaciones mostrado en la figura 7, le permite al usuario acceder a esta información por elemento dentro de la estructura, para acceder a éste, basta con hacer clic derecho sobre el elemento deseado y seleccionar la opción deseada entre: Solicitaciones, especificaciones y el resumen de diseño.

Los elementos que aparecen en negro para esta vista de la estructura, son elementos inactivos que no se seleccionaron en la ventana de selección de elementos (ver figura 7), y por lo tanto no son seleccionables, por esta razón el submenú no aparece para éstos.

El botón OK dentro de esta ventana permite acceder a la pestaña de selección de elementos por eje (ver figura 14 y 15).

3.5. Menú especificaciones del elemento seleccionado:

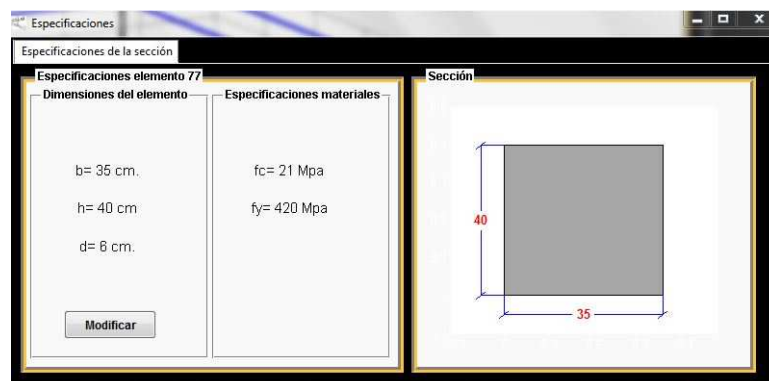


Figura 8. Ventana especificaciones del elemento seleccionado.

La ventana especificaciones del elemento (ver figura 8), permite verificar y/o modificar las especificaciones del elemento, el acceso a esta ventana se realiza desde el submenú del elemento en la opción “especificaciones”, la modificación de las especificaciones puede resultar útil para el diseño de secciones que originalmente no eran suficientes para la solicitación a la que estaban sometidas, facilitando así el dimensionamiento de nuevos elementos capaces de soportar la solicitación.

 El botón modificar en esta ventana da el acceso a la ventana que permite la edición de estas características (ver figura 9)

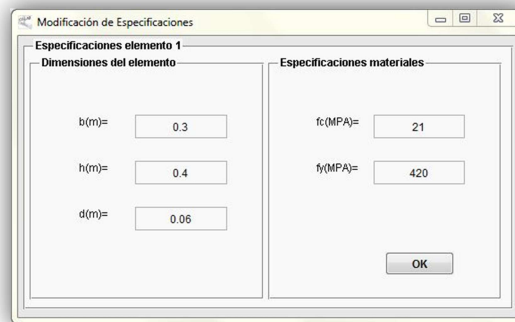


Figura 9. Ventana para modificar la sección solicitada.

La ventana para modificar permite cambiar valores correspondientes a tamaños de sección y especificaciones del elemento seleccionado, es de gran utilidad para el usuario pues le sirve como una herramienta para agilizar el proceso de importación desde un nuevo modelo, ya que permite verificar el diseño de una nueva sección diferente a la que se importó originalmente. Sin embargo se aconseja que el usuario vuelva a crear un modelo de análisis y posteriormente, éste sea importado a CR-LAB con el nuevo tamaño de sección, que si cumple con todos los requisitos. Esto se debe a los cambios que se pueden producir debido al cambio de sección en el comportamiento de la estructura.

3.6. Ventana *solicitaciones* sobre el elemento para vigas

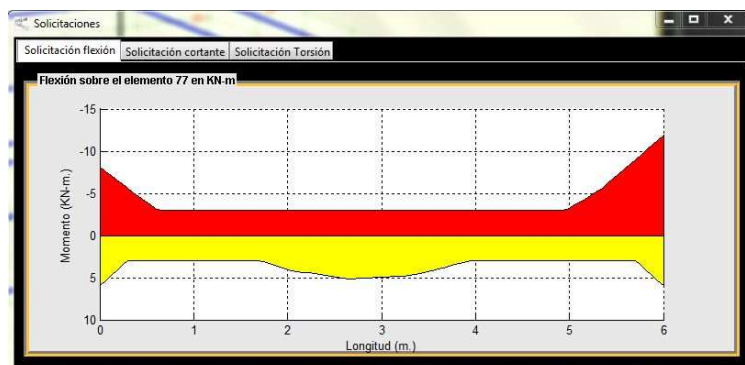
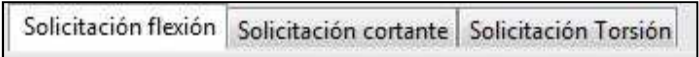


Figura 10. Ventana *solicitaciones* para elementos viga.

La ventana de solicitaciones para elementos viga (ver figura 10), permite revisar las solicitaciones a las que está sometido el elemento seleccionado (muestra envolventes de diseño para las vigas, de acuerdo a la NSR-10), las pestañas superiores permiten desplazarse entre los diferentes tipos de solicitación a los que estará sometida la viga (Cortante, flexión y torsión).

- 
 Pestañas para navegación entre solicitaciones sobre el elemento viga seleccionado.

3.7. Ventana solicitaciones sobre el elemento para vigas

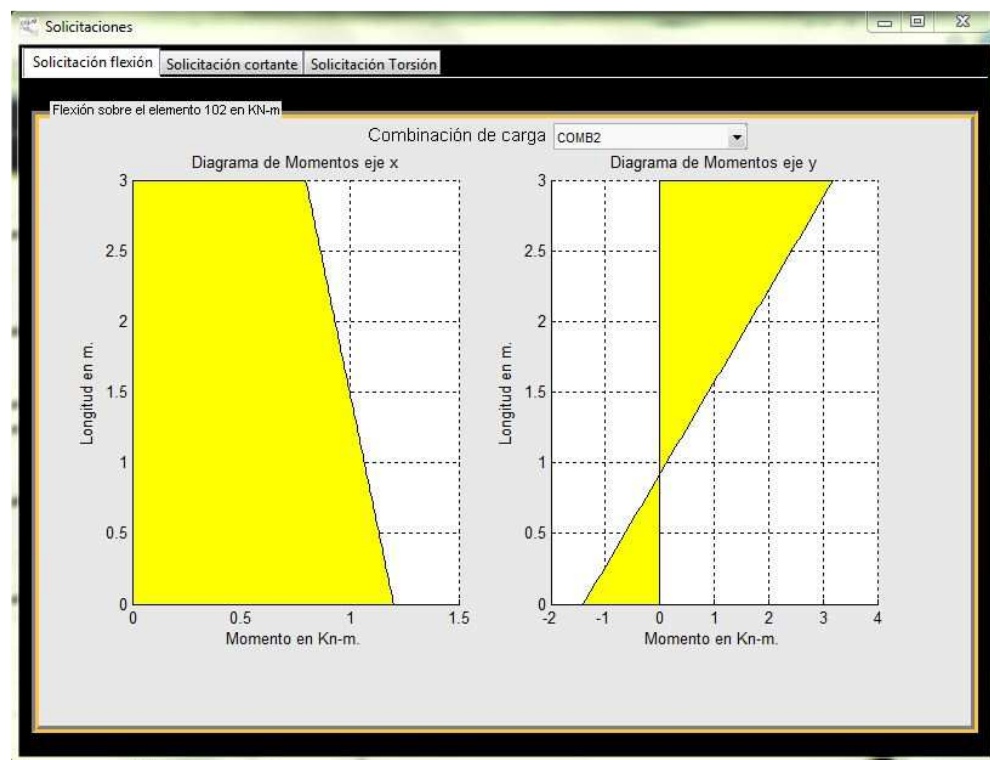
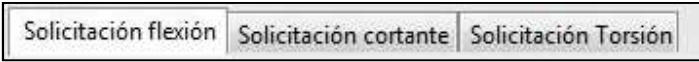


Figura 11. Ventana solicitaciones elementos columna.

La ventana de solicitaciones para elementos columna (ver figura 11), permite revisar las solicitaciones a las que está sometido el elemento seleccionado, las pestañas superiores permiten desplazarse entre los diferentes tipos de solicitación a los que estará sometida la viga (Solicitación flexión, Solicitación Cortante y

solicitación de torsión). Además la pestaña de combinaciones, permite revisar las diferentes solicitaciones ante los diferentes casos de carga ingresados en el modelo de análisis.

-  *Pestaña de combinaciones.*
-  *Pestañas para navegación entre solicitaciones sobre el elemento columna seleccionado.*

3.8. Menú resumen de *diseño* para columnas

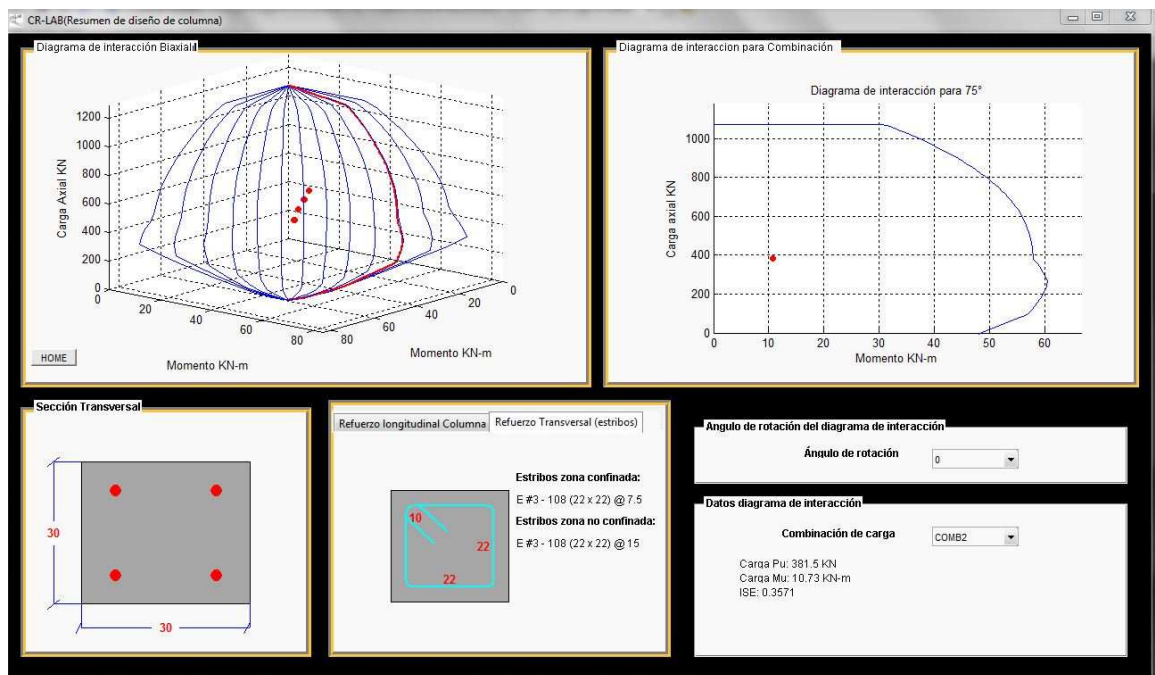
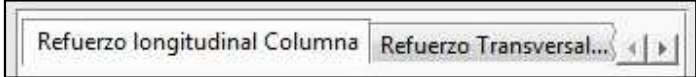


Figura 12. Ventana resumen de resultados de diseño para columna.

El resumen del diseño de las columnas (*ver figura 12*) se puede visualizar en la ventana de resumen de resultados de diseño para columnas, donde se encuentran resumidos los parámetros con los que se diseñó el elemento haciendo los respectivos chequeos para garantizar su diseño. Esta ventana contiene la vista tridimensional de la superficie de interacción biaxial para la configuración de la sección mostrada en el panel de Sección transversal que relaciona la carga axial

con el momento sobre la columna, graficando además dentro de ella las respectivas solicitaciones para cuantas combinaciones de carga se hayan importado desde el modelo de análisis. Contiene además la vista en perfil para cada ángulo de posicionamiento del eje neutro que se puede rotar con la pestaña ángulo de rotación o con la pestaña que contiene el ángulo resultante de la combinación de carga mostrada dentro del desplegable. Por otro lado contiene resumida la información de diseño tanto para el diseño longitudinal como para el transversal en las pestañas de Refuerzo longitudinal y de refuerzo transversal respectivamente, incluyendo el número de ramas adicionales de ser necesarias.

- 
 Menú para la vista del diagrama de interacción en función del ángulo deseado.
- 
 Menú para la vista del diagrama de interacción en función de la combinación de carga y el ángulo que ésta forma.
- 
 Pestañas para facilitar la navegación en la verificación de resultados de diseño y chequeo para el refuerzo de la columna.
- 
 Botón “home”, le permite al usuario regresar el diagrama de interacción en vista tridimensional a la posición inicialmente mostrada.

3.9. Ventana resumen de *diseño* para vigas

Este resumen (Ver figura 13) de diseño incluye los refuerzos longitudinales tanto positivo como negativo, además del refuerzo transversal (diseño a torsión y cortante). Así como la distribución de las barras en la sección en un gráfico esquemático dentro del panel Sección. Las ventanas de resumen de diseño para losas armadas en una dirección ya sean aligeradas o macizas, muestran los mismos datos, además de la inclusión del refuerzo por retracción y temperatura

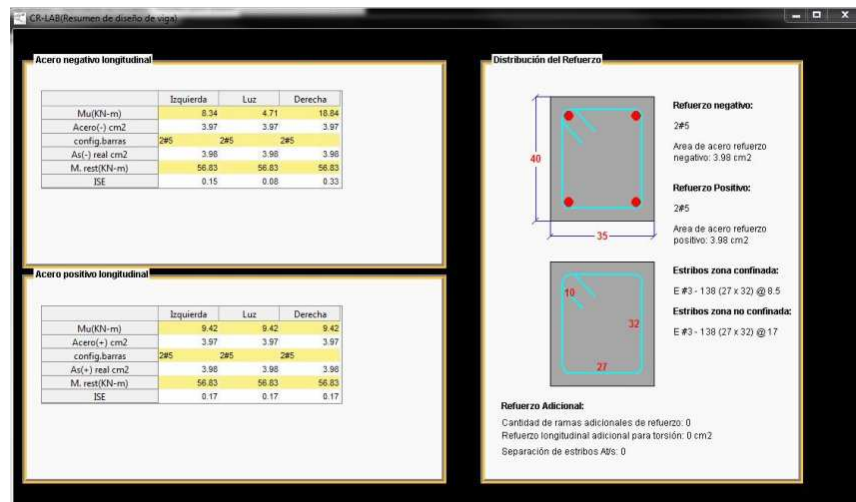


Figura 13. Ventana resumen de resultados diseño para viga.

3.10. Selección de ejes

La pestaña para la selección de elemento por eje le permite al usuario seleccionar los elementos dentro de cada uno de los ejes para la presentación de las memorias de cálculo y creación de scripts .scr, la función de esta ventana es facilitarle al usuario la selección simultánea de elementos en varios ejes. La figura 14 muestra la ventana para la selección de elementos en los ejes x e y, el botón el botón seleccionar todo permite que el usuario seleccione de una sola vez todos los elementos en los ejes, de la misma manera se pueden deshacer estos cambios con el botón deshacer o eliminando la selección en los checks dentro de cada una de las tablas. El botón seleccionar permite ver los elementos seleccionados dentro de la vista en 3D dentro del panel selección de elementos para diseño. De manera similar funciona la pestaña para selección de columnas (ver figura 15) por eje con una nomenclatura basada en ejes y primero y x después, de la forma y-x donde el primer número representa la numeración en el eje Y, y el X respectivamente. Así por ejemplo para seleccionar la columna en el eje x=1 y el y=2, se debe elegir C21.

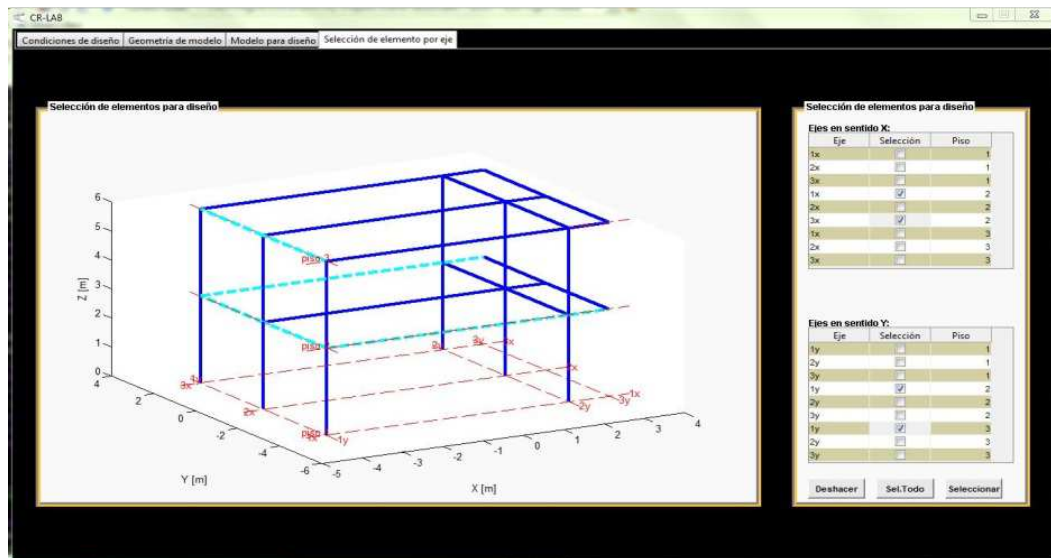


Figura 14. Ventana para selección de elementos viga por eje.

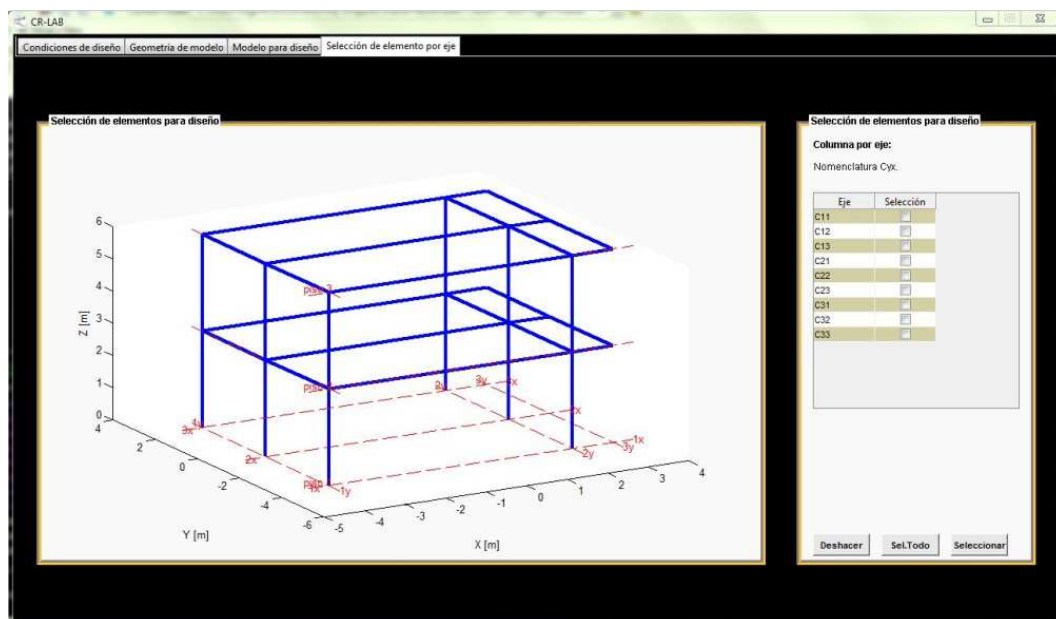


Figura 15. Selección de elementos columna por eje.

3.11. CR-LAB PARA EL DISEÑO DE LOSAS MACIZAS Y ALIGERADAS EN UNA DIRECCIÓN



Figura 16. Ventana para selección entre losa aligerada y maciza.

En esta ventana para selección entre losa aligerada y maciza, se le pide al usuario que seleccione el tipo de elemento que se analizara y diseñará. El botón Losa aligerada.

-  Botón para selección de análisis y diseño para losa aligerada.
-  Botón para selección de análisis y diseño para losa maciza.

3.12. CR-LAB Datos losa aligerada

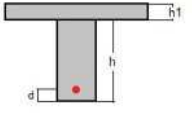
Especificaciones de la losa	
Especificaciones para el análisis y diseño de la losa	
Dimensiones de la sección	Materiales
	Resistencia (MPa): 21
ancho afeerente(cm)= 90	Fy(MPa): 420
bw(cm)= 15	Peso Concreto(kN/m3) 24
Espesor de la loseta h1 (cm)= 4.5	
Recubrimiento del refuerzo d(cm)= 3	Cargas en KN-m y # de luces
Altura h(cm) del nervio = 20	Carga muerta (kN/m): 4
	Carga viva (kN/m): 3
	No. de luces en la losa 1
	OK

Figura 17. Ventana especificaciones losa aligerada.

La ventana de especificaciones para losas aligeradas (figura 17) le permite al usuario darle las dimensiones a la vigueta que se desea diseñar, a partir de los datos que se incluyan en el panel Dimensiones de la sección, donde se ingresan los datos de acuerdo a la ilustración de la vigueta y loseta típicas.

El Panel Materiales, le permite al usuario especificar la resistencia del concreto en MPa (Megapascuales), además de la resistencia del acero y el peso por unidad volumétrica del concreto en KN/m^3 (para el cálculo del peso propio a partir de la sección transversal de ésta).

EL Panel cargas en KN-m y el # de luces, permite la edición para el análisis de la vigueta especificando la carga viva y muerta por metro cuadrado (m^2) a la que se someterá el elemento, además se debe especificar el número de luces para el análisis como viga continua del elemento (ver figura 18).

3.13. CR-LAB Edición para análisis

Luz	Longitud	Wu (KN/m)	Ws (KN/m)	Condición de apoyo	Momento Carga P voladizo
1	1	13.83	12.88	Empotrado	
2	1	13.83	12.88	Simple	
3	1	13.83	12.88	Simple	

Apoyo	Ancho apoyo m.
1	0.3000
2	0.3000
3	0.3000
4	0.3000

Figura 18. Ventana Edición de cargas por luz y anchos de apoyo.

La tabla para edición de cargas y condiciones por luz dentro del panel datos por luz sirve, como una herramienta para la edición de cargas y longitudes por tramos de luz, además de que permite especificar la condición de los apoyos, gracias al menú contenido dentro del popup, en la columna Condición de apoyo, ésta le permite al usuario elegir la condición en los apoyos extremos para el diseño de la vigueta, además permite ingresar valores de momento para vigas de borde y cargas puntuales para voladizos (de ser necesario para el análisis de la losa).

La tabla para edición de anchos de apoyo le permite al usuario especificar el ancho de cada uno de los apoyos de ser necesario, los valores de ancho de apoyo 0, para el caso de voladizo deben coincidir con los puntos en los que se especificó una condición de apoyo 0 en la tabla para edición de cargas y condiciones por luz.

3.14. CR-LAB Datos losa maciza

Figura 19. Ventana especificaciones losa maciza.

La ventana de especificaciones para losas macizas (figura 19) le permite al usuario darle las dimensiones a la vigueta que se desea diseñar, a partir de los datos que se incluyan en el panel Dimensiones de la sección, donde se ingresan los datos de acuerdo a la ilustración de la vigueta y loseta típicas.

El Panel Materiales, le permite al usuario especificar la resistencia del concreto en MPa (Megapascuales), además de la resistencia del acero y el peso por unidad volumétrica del concreto en KN/m^3 (para el cálculo del peso propio a partir de la sección transversal de ésta).

El Panel cargas en KN-m y el # de luces, permite la edición para el análisis de la vigueta especificando la carga viva y muerta por metro cuadrado (m^2) a la que se someterá el elemento, además se debe especificar el número de luces para el análisis como viga continua del elemento.

3.15. CR-LAB Edición para análisis:

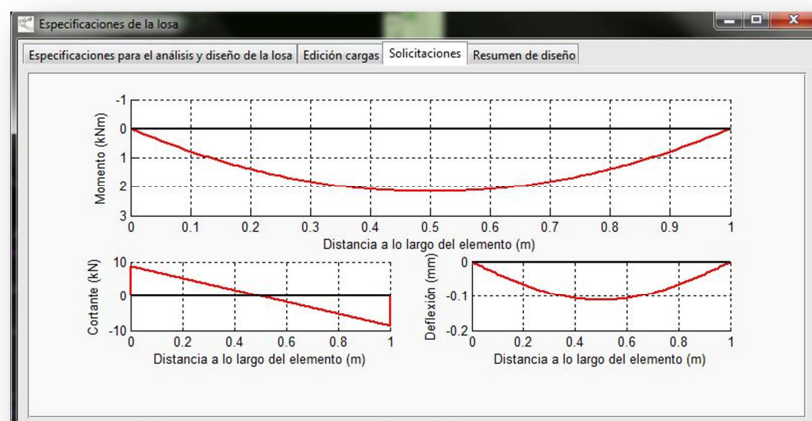


Figura 20. Solicitaciones del elemento.

La ventana de Solicitaciones del elemento (Figura 20) muestra las solicitaciones sobre el elemento analizado para los datos mostrados en la tabla para las cargas y longitud por luz y componente del elemento *esto aplica para elementos de losa aligerada y losa maciza por igual*.

3.16. CR-LAB SELECCIÓN DE DATOS DE SALIDA



Figura 21. Menú selección formato de salida.

Le permite al usuario seleccionar entre los tres distintos tipos de archivo para la salida de datos donde se muestran los resultados del análisis y o chequeo realizados, para que sirva como memoria de cálculo o despiece.



Para la presentación de una memoria de cálculo en formato RTF, a partir de los chequeos y cálculos de diseño realizados.



Para la presentación de una memoria de cálculo en formato PDF, a partir de los chequeos y cálculos de diseño realizados.



Para la creación del script en extensión .SCR, compatible con AUTOCAD para la creación del detalle de la sección y el despiece del elemento.

4. RESULTADOS DE ESQUEMAS EN AUTOCAD A PARTIR DEL ARCHIVO SCR:

Los resultados de diseño presentados en despieces le muestran al usuario una configuración aproximada de la colocación de estribos y barras de refuerzo longitudinales para los elementos que se diseñaron (figuras 22, 23 y 24).

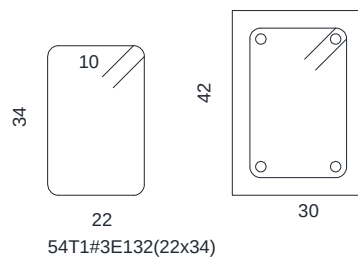


Figura 22. Sección típica en AUTOCAD, a partir del SCR generado en CR-LAB.

2#551.5/54			1#520	2#520/22.5		
8 E #3T1@9	11 E #3T1@18	8 E #3T1@9		8 E #3T1@9	11 E #3T1@18	8 E #3T1@9
2#539.5/42				2#528.5/31		

Figura 23. Sección longitudinal típica

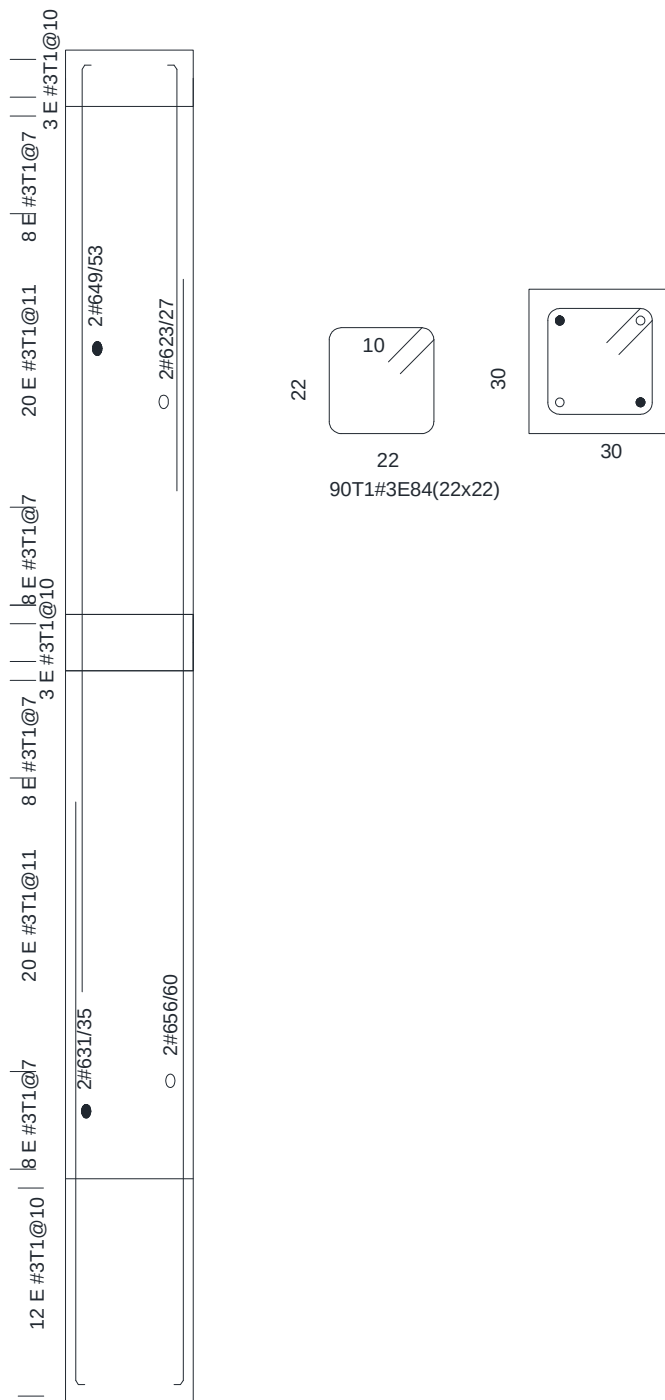


Figura 19. Sección típica de columna.

ANEXO C. Ejercicios de verificación.

ANEXO C: EJERCICIOS DE VERIFICACIÓN

1. Diagrama de interacción:

Dibujar la curva de interacción de cargas nominales y momentos flectores nominales respecto al eje centroidal x de la columna de la figura, tomando ejes neutros paralelos a dicho eje, si la resistencia a la rotura del hormigón es $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y el esfuerzo de fluencia del acero es $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$.

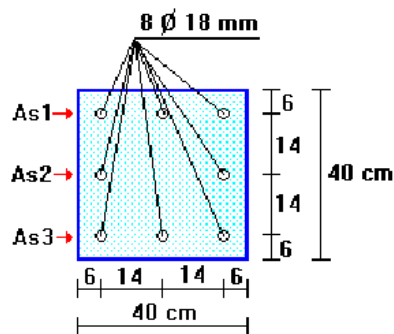


Figura 1. Detalle sección transversal, configuración de barras.

La curva de interacción nominal para la sección estudiada:

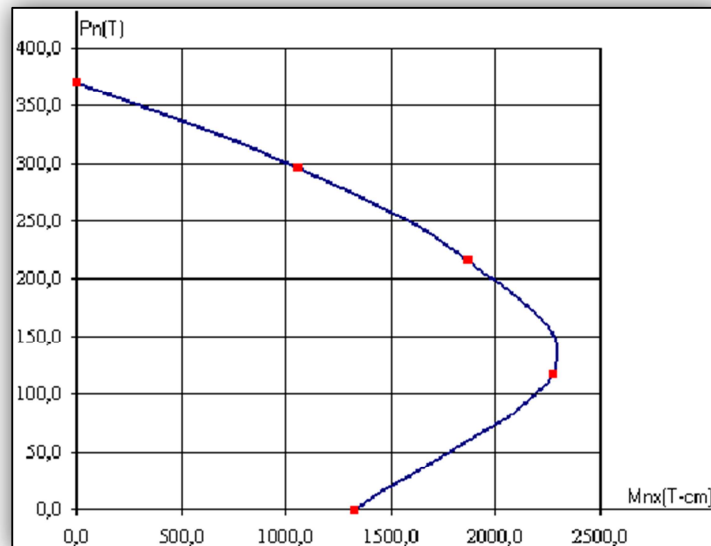


Figura 2 Curva capacidad nominal de la columna obtenida del ejemplo.

La curva de interacción obtenida mediante el programa:

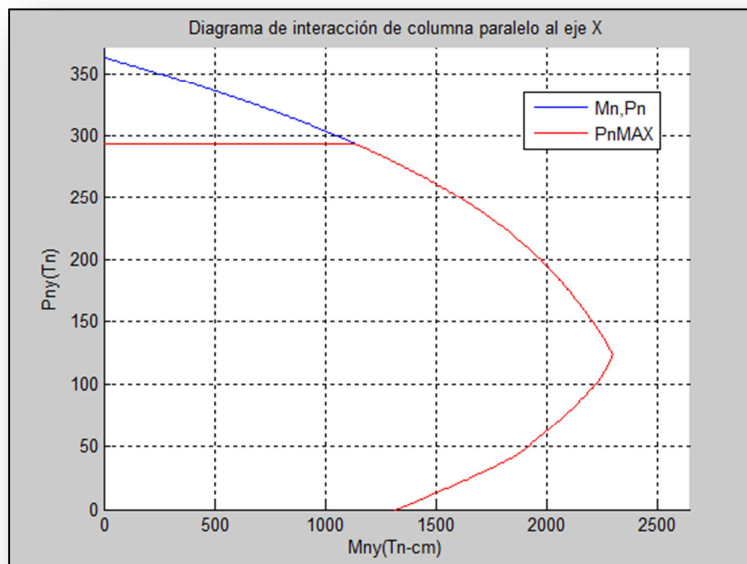


Figura 3. Curva capacidad nominal de la columna obtenida desde el software

PUNTO	Ejemplo		CR-LAB	
	Mn	Pn	Mn	Pn
	(Ton-cm)	(Ton)	(Ton-cm)	(Ton)
1	0.0	370.9	0.0	370.9
2	1041.9	298.0	1075	297.97
3	1857.7	218.3	1857.7	213.34
4	2292.0	121.4	2292	121.38
5	1322.9	0.0	1322	0.65

Tabla 2. Comparación de resultados.

1.1. Análisis de un elemento continuo:

Viga continua de dos luces sometida a una carga uniformemente distribuida de 20 KN-m, para una luz de 7,5m. y una de 7,0m. bajo condiciones de empotramiento en el apoyo derecho, y apoyos simples en el resto de la luz.

COMPARACIÓN ANÁLISIS CR-LAB Y SAP2000							
L (m)	M KN-m			L (m)	V KN		
	CR-LAB	SAP2000	dif. %		CR-LAB	SAP2000	dif. %
0	0.00	0.00	0.00%	0	0	0.00	0.00%
3	88.46	88.68	0.25%		59.49	59.56	0.12%
7.5	-116.34	-115.80	0.47%	7.5	90.51	90.44	0.08%
11.35	33.54	33.47	0.20%		77.43	77.28	0.20%
14.5	-64.33	-64.88	0.85%	14.5	62.57	62.73	0.25%
		% Promedio.	0.35%		0.00	0	0.00%
						% Prom.	0.11%

Tabla 3. Comparación de resultados entre CR-LAB y SAP2000.

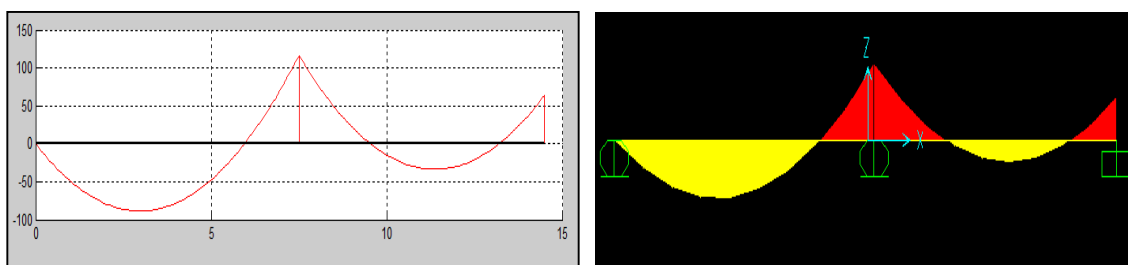


Figura 4. Diagramas de momento, **Izquierda:** Análisis CR-LAB, **Derecha:** Análisis SAP2000.



Figura 5. Diagramas de momento, **Izquierda:** Análisis SAP 2000, **Derecha:** Análisis CR-LAB.

2. Diseño de elementos estructurales de una edificación desde modelo de análisis:

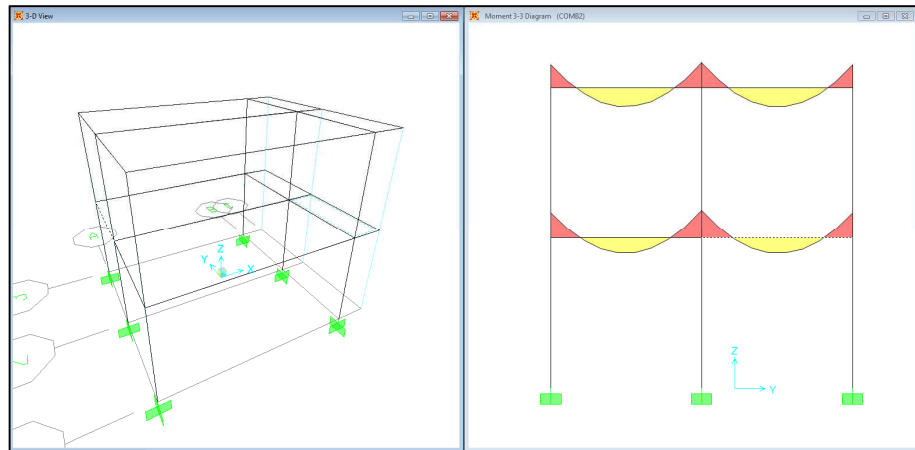


Figura 6. Izquierda: Vista de modelo en SAP2000. Derecha: vista plano Y-Z, vista eje A visualización de viga para diseñar.

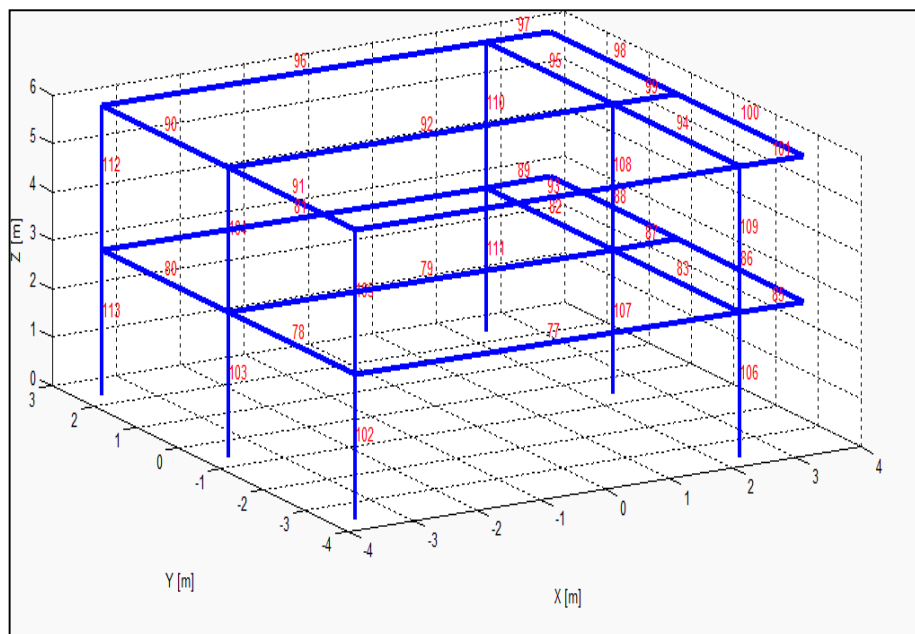


Figura 7. Vista en 3D del modelo cargado en CR-LAB.

2.1. Diseño de la Viga Eje A-piso 1(SAP 2000)

Se diseñará como un elemento DES. Las dimensiones del elemento son de $30 \times 42 \text{ cms}$. Con una resistencia a la compresión de $f'c = 21 \text{ Mpa}$. Y un acero con un $fy = 420 \text{ Mpa}$. Con estribos cerrados de diámetro $\phi = 3/8"$. Con un recubrimiento de 6 cms para las barras longitudinales, y 4 cms de recubrimiento para el estribo.

2.1.1. Diseño a Flexión del elemento sobre el eje A:

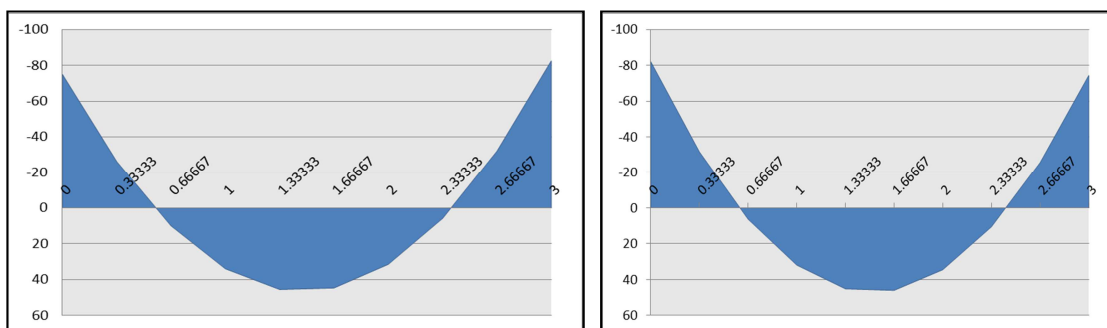


Figura 8. Solicitaciones de momento sobre la viga en el eje A.

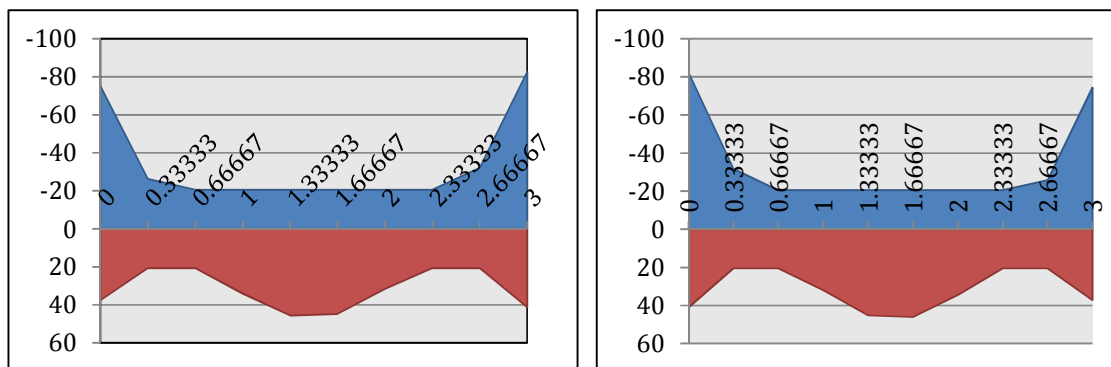


Figura 9. Envolvente de momentos para diseño según la NSR-10. Izquierda: Luz1, Derecha: Luz2.

A partir de la resistencia $f'c = 21 \text{ Mpa}$ y la expresión para cuantía mínima expresada en la norma como sigue:

$$\rho_{\min} = \max \left\{ \frac{0.25 \sqrt{f'c}}{f_y}; 1.4 / f_y \right\}$$

Ecuación 3.

Se obtiene el valor de cuantía mínima para la sección que se desea diseñar, en este caso el resultado es:

$$\rho_{\min} = 0.0033$$

Ecuación 4. Resultado cuantía mínima

Para el cálculo del ρ , usamos la expresión que relaciona a éste con el M_u

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

Ecuación 5.

Los ρ correspondientes a los M_u de la envolvente de diseño según la NSR-10, se presentan en la siguiente tabla, los puntos de análisis A, B y C representan las solicitaciones en las caras de los apoyos para A y C respectivamente, y B representa la solicitación máxima en la viga, diferente a las que se encuentran en los extremos:

Tabla 4. Cálculo de áreas de acero para las solicitaciones sobre la luz 1.

	A	B	C	CR-LAB(A)	CR-LAB(B)	CR-LAB(C)
$-M_u$						
(KN – m)	-75	-20.6	-82.5	-75	-20.6	-82.5
ρ	0.0055	0.0014	0.006	0.0056	0.0014	0.006
ρ a usar	0.0055	0.0033	0.006	0.0056	0.0033	0.006
$As(cm^2)$	5.89	1.54	6.52	5.89	1.54	6.52

Config.Barras	3 #5	2 #5	2#5+1#6	3 #5	2 #5	2#5+1#6
	A	B	C			
+Mu						
(KN – m)	37.5	45.6	41.24	37.5	45.6	41.24
ρ	0.0026	0.0032	0.0029	0.0026	0.0032	0.0029
ρ a usar	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
As(cm²)	2.85	3.43	3.14	2.85	3.43	3.14
Config.Barras	2#5	2#5	2#5	2#5	2#5	2#5

Tabla 5. Cálculo de áreas de acero para las solicitaciones sobre la luz 2.

	A	B	C	CR-LAB(A)	CR-LAB(B)	CR-LAB(C)
-Mu	-82	-20.51	-74.4	-75	-20.6	-82.5
(KN – m)						
ρ	0.0055	0.0014	0.006	0.0056	0.0014	0.006
ρ a usar	0.0055	0.0033	0.006	0.0056	0.0033	0.006
As(cm²)	5.89	1.54	6.52	5.89	1.54	6.52
Config.Barras	3#5	2#5	2#5+1#6	3 #5	2 #5	2#5+1#6
	A	B	C			
+Mu	41	46	37.2	37.5	45.6	41.24
(KN – m)						
ρ	0.0026	0.0032	0.0029	0.0026	0.0032	0.0029
ρ a usar	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033

$A_s(cm^2)$	2.85	3.43	3.14	2.85	3.43	3.14
Config.Barras	2 #5	2 #5	2 #5	2 #5	2 #5	2 #5

2.1.2. Diseño a Cortante del elemento sobre el eje A:

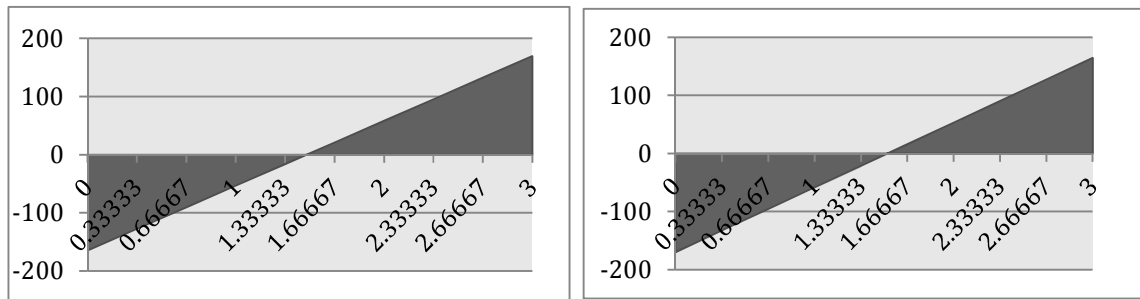


Figura 10. Envolvente de momentos para diseño según la NSR-10. Izquierda: Luz1, Derecha: Luz2.

Para el cálculo del refuerzo transversal a cortante usamos los valores correspondientes a la cortante en la cara del apoyo para diseñar la separación del refuerzo transversal en la parte confinada de la viga, y para la parte no confinada diseñamos una separación para los estribos con el valor de la cortante a una distancia igual a 2 veces la altura efectiva del elemento medida desde la cara del apoyo. Además se debe calcular el valor del V_s (ecuación 5) para ver si se encuentra dentro del límite permisible.

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c} * b_w * d}{6}, V_c = 82.5 \text{ KN}$$

Ecuación 6.

$$V_{s\text{lim}} = 0.33 * \sqrt{f'_c} * b_w * d = 165 \text{ KN}$$

$$V_{s\text{max}} = 0.66 * \sqrt{f'_c} * b_w * d = 330 \text{ KN}$$

Ecuación 7.

En la siguiente tabla se presentan los respectivos V_u para cada luz, el valor del V_s que les corresponde y la separación de estribos S en centímetros correspondiente.

	CARA DEL APOYO	CR-LAB	$2d \cong 0.74m.$	CR-LAB
V_u (KN)	169.7	169.7	102.57	169.7
V_s (KN)	$143.8 < V_{slim}$	$143.8 < V_{slim}$	$54.9 < V_{slim}$	$54.9 < V_{slim}$
S (m)	$0.15 > d/4$	$0.154 > d/4$	$0.391 > d/2$	$0.385 > d/2$
$S_{usar}(m)$	0.09	0.09	0.18	0.18

Tabla 6. Diseño luz 1.

	CARA DEL APOYO	CR-LAB	$2d \cong 0.74m.$	CR-LAB
V_u (KN)	169.7	169.7	102.6	169.7
V_s (KN)	$143.8 < V_{slim}$	$143.8 < V_{slim}$	$54.9 < V_{slim}$	$54.9 < V_{slim}$
S (m)	$0.15 > d/4$	$0.154 > d/4$	$0.39 > d/2$	$0.385 > d/2$
$S_{usar}(m)$	0.09	0.09	0.18	0.18

Tabla 7. Diseño luz 2.

2.1.3. Diseño a Torsión del elemento sobre el eje A:

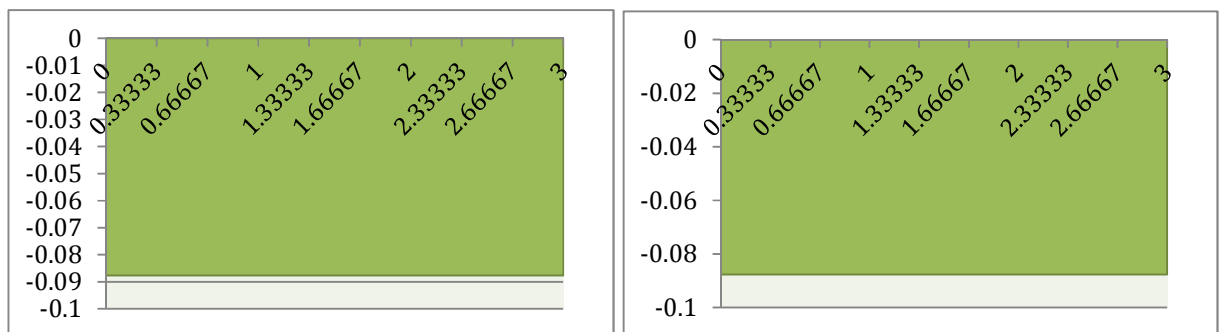


Figura 11. Solicitación de torsión.

Empezamos por chequear que el T_u es menor al T_c resistente de la sección de concreto

$$T_c = \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Ecuación 8. Umbral de torsión.

$$T_c = 3.16 \text{ KN} - m > T_u = 0.0004 \text{ KN} - m$$

En ambas luces se cumple que $T_c > T_u$, por lo tanto, no es necesario considerar los efectos de la torsión en el diseño de este elemento.

Despiece generado en CR-LAB:

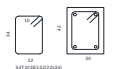
v-1 30X42	2#551.5/54 1#620 2#520/22.5 2#539.5/42 8 E #3T1@9 11 E #3T1@18 8 E #3T1@9 8 E #3T1@9 11 E #3T1@18 8 E #3T1@9	2#520/22.5 2#528.5/31 8 E #3T1@9 11 E #3T1@18 8 E #3T1@9	
--------------	--	---	---

Figura 12. Distribución del refuerzo en la viga, creado en CR-LAB.

2.2. Diseño de la columna 1-A piso 1 y 2, desde el modelo de SAP 2000:

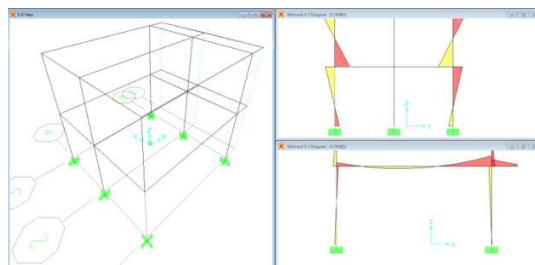


Figura 13. Vista diagramas en SAP2000 de las solicitaciones sobre el elemento.

La columna tiene una sección de $30 \times 30 \text{ cms.}$, Las especificaciones de los materiales son: concreto con una resistencia a la compresión de $f'_c = 21 \text{ Mpa}$, y un acero con un $f_y = 420 \text{ Mpa}$. Con estribos cerrados de diámetro $\phi = \frac{3}{8}''$. Con un recubrimiento de 4 cms para los estribos y de 6 cms para el refuerzo longitudinal.

2.2.1. Diseño flexocompresión de la sección:

Las solicitaciones por piso de carga de compresión y momento de diseño para la columna se presentan en la tabla siguiente:

	Piso 1	Piso 2
$P_u \text{ (kn)}$	371.29	187.03
$M_{ux} \text{ (kn.m)}$	10.45	18.2
$M_{uy} \text{ (kn.m)}$	2.73	6
ISE	0.37	0.18

Los valores para el cálculo del ISE se obtuvieron a partir del diagrama de interacción mostrado a continuación X e Y, esto es para una configuración de 4 barras #6 con una cuantía de refuerzo del 1.27%. El valor de ISE, se obtiene a partir de la ecuación de Bresler para los valores nominales de resistencia tanto para el eje X como el Y.

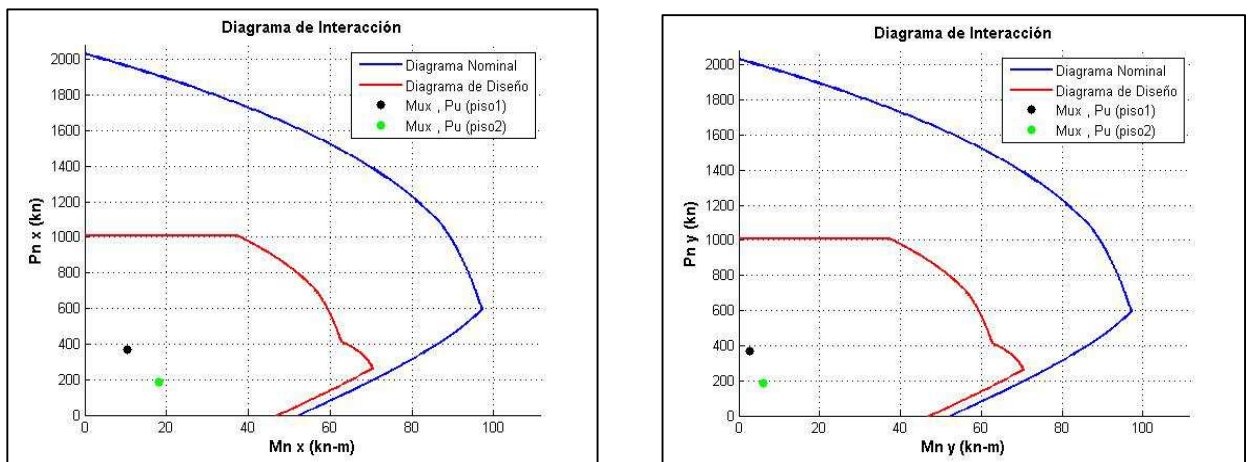


Figura 14. Diagramas de interacción eje x y eje y para la sección analizada.

Los ISE se encuentran por debajo de 1, por lo tanto el refuerzo de 4 barras longitudinales #6, es suficiente para soportar las solicitaciones a las que está

siendo sometida la columna. El programa CR-LAB, usa los diagramas de interacción biaxial para el cálculo de ISE correspondientes al momento resultante entre m_x y m_y , en columnas iterando cuantías de refuerzo p

ara que el elemento pueda soportar la sollicitación de manera adecuada.

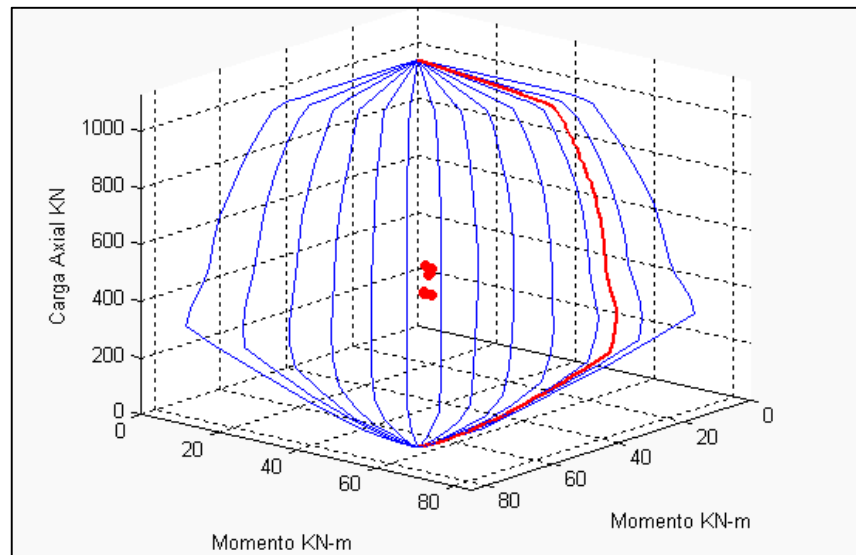


Figura 15. Diagrama de interacción biaxial para la sección estudiada obtenido desde CR-LAB.

Comparando los resultados del programa con los resultados obtenidos en el cálculo realizado a mano con la ecuación de Bressler, se obtiene:

Tabla 8. Comparación de resultados para el ISE en columnas a flexocompresión.

	Bressler	CR-LAB	% dif
Piso 1 Columna A-1	0.37	0.38	2.6%
Piso 2 Columna A-1	0.18	0.182	1.1%

2.2.2. Diseño a cortante para la sección:

La resistencia a cortante aportada por el concreto en una sección sometida a carga axial ya sea compresión o tracción se expresa como sigue:

$$V_c = \left(1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \frac{\sqrt{f'_c} * bw * d}{6}$$

Ecuación 9.

Donde N_u , representa la carga axial con el valor más crítico de carga axial sobre la columna (el menor presentado de todas las combinaciones de carga a las que estará sometida la columna ya que es el que menos aporta al V_c). En la siguiente tabla se resume el valor de la carga P_u (N_u), la sollicitación a cortante sobre el elemento y el valor de $\phi.V_c$, el valor de ϕ para cortante según la NSR-10 es de 0.75.

Tabla 9. Datos para diseño a cortante de la columna.

	P_u(KN)	$\phi.V_c$	V_u x(KN)	V_u y(KN)
Piso 1	371.29	55.9	4	11.7
Piso 2	187.03	49.6	2	5.2

$V_u < V_c$, por lo tanto se usarán las separaciones máximas permisibles según la norma:

$$S_{\max \text{ con}} = \min \{b / 4; h / 4; 100 \text{ mm} \}$$

$$S_{\max \text{ noconfinado}} = \min \{6db, 150 \text{ mm} \}$$

Tabla 10. Separaciones máximas de estribos.

	$S_{\max \text{ Conf.}}$ (cm)	$S_{\max \text{ no conf.}}$ (cm)	$S_{\max \text{ Conf. (cm)}}$ CR-LAB	$S_{\max \text{ no conf.(cm)}}$ CR-LAB
Piso 1	7.5	11.43	7	11
Piso 2	7.5	11.43	7	11

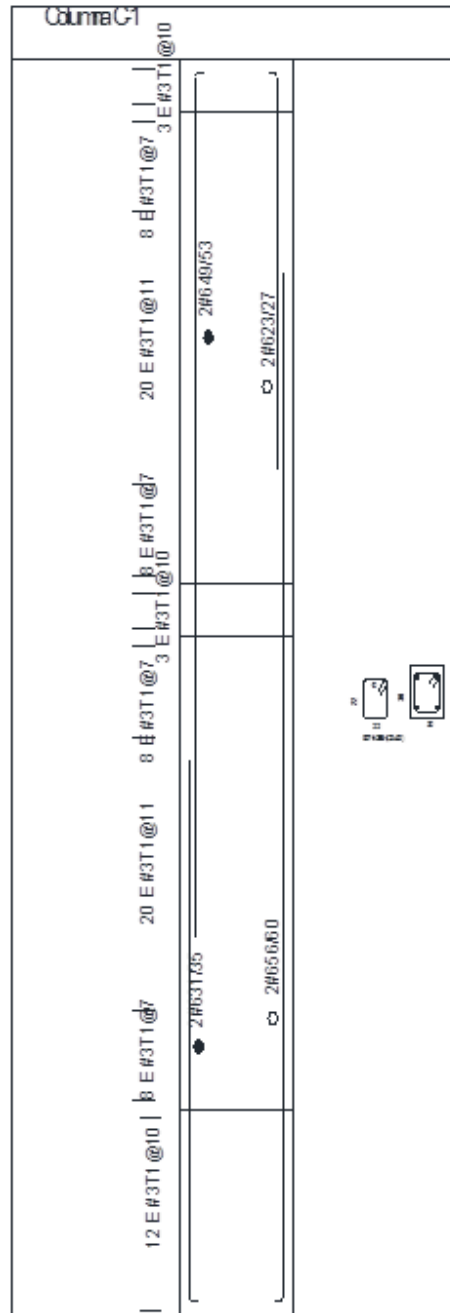


Figura 16. Distribución del refuerzo en la columna, creado en CR-LAB.