

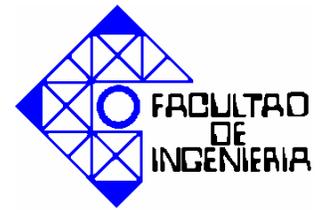


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



## **DISEÑO DE UN PROGRAMA PARA ARMADO DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO A PARTIR DEL RESULTADO DE ÁREAS DE ACERO OBTENIDAS EN UN SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUCTURAL**

**Autores:**

Jiménez E., Zaraid C.

Navarro B., Daniel J.

**Tutor:** Quintana A., José A.

Valencia, Octubre de 2012



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



## **DISEÑO DE UN PROGRAMA PARA ARMADO DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO A PARTIR DEL RESULTADO DE ÁREAS DE ACERO OBTENIDAS EN UN SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUCTURAL**

Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Civil.

**Autores:**

Jiménez E., Zaraid C.

Navarro B., Daniel J.

**Tutor:** Quintana A., José A.

Valencia, Octubre de 2012.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



## CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, Miembros del Jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado titulado: “ **DISEÑO DE UN PROGRAMA PARA ARMADO DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO A PARTIR DEL RESULTADO DE ÁREAS DE ACERO OBTENIDAS EN UN SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUCTURAL**”; realizado por los bachilleres: Jiménez Zaraid y Navarro Daniel, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

---

Presidente del Jurado

José A. Quintana

---

Miembro del Jurado

Fernando Villalobos

---

Miembro del Jurado

Lisbeth Pacheco

## **AGRADECIMIENTOS**

A dios por guiarnos siempre espiritualmente y ayudarnos a lo largo de nuestra carrera, dándonos fuerza para seguir adelante.

A nuestros padres y familiares por apoyarnos a lo largo de toda nuestra carrera y en la realización de nuestro trabajo especial de grado.

A nuestro tutor el Ing. José Alberto Quintana por su ayuda en la elaboración del software, así como aportar ideas y conocimientos para hacerlo realidad.

Al Ing. Alejandro Pocaterra por su amable ayuda en los aspectos metodológicos y del proceso de realización de este Trabajo Especial de Grado.

A los profesores Ing. Edinson Guanchez, Ing. Edson Martínez, Ing. Lisbeth Pacheco, Lic. Eucandis Fuentes por su generosa ayuda en la realización de nuestro trabajo de grado, lo cual nos fue de mucha utilidad para haber logrado nuestra meta.

Al departamento de computación de FACYT, en especial al Ing. Aldo Reyes que incansablemente nos ayudó y guió durante el largo proceso de creación del software.

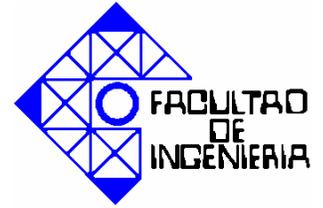


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



## DISEÑO DE UN PROGRAMA PARA ARMADO DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO A PARTIR DEL RESULTADO DE ÁREAS DE ACERO OBTENIDAS EN UN SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUCTURAL

**Autores:** Jiménez, Zaraid

Navarro Daniel

**Tutor:** Quintana, José

Octubre 2012

### RESUMEN

El presente Trabajo de Investigación tiene como objetivo el diseño de un programa de armado de vigas a partir de las áreas de acero suministradas por un software de cálculo estructural. Este trabajo constituye una investigación de tipo Proyecto Especial ya que aporta una solución a la problemática que se plantea. Con el uso del Programa de Armado de Vigas objeto de esta investigación se disminuyó el tiempo de trabajo en un 88,14% además de lograr una disminución de errores al momento de armar el acero estructural de las vigas de un proyecto estructural, por parte de los ingenieros proyectistas. Para la creación de este software se realizó un algoritmo en cumplimiento de la Norma Venezolana 1753:2006, *PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL*, a su vez se diseñaron todas las ventanas y procedimiento de entrada de datos para crear una interfaz sencilla y rápida para realizar el proceso. El programa muestra el armado del acero corrido y de refuerzo de la viga con la posibilidad de imprimirse, además se incluye un manual de usuario como referencia para su uso.

**Palabras clave:** Software, Armado de vigas, Concreto armado.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO I.....	12
1 EL PROBLEMA.....	12
1.1 Planteamiento del Problema.....	12
1.2 Formulación del problema .....	13
1.3 Objetivos de la investigación.....	14
1.3.1 Objetivo General .....	14
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	14
1.4 Justificación .....	14
1.5 Alcance y Limitaciones .....	16
CAPÍTULO II.....	17
2 MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	17
2.2 Bases teóricas.....	20
2.2.1 Vigas sometidas a flexión .....	20
2.2.2 Resistencia de miembros sometidos a flexión para miembros rectangulares .....	26
2.2.3 Cortante y tensión diagonal en vigas .....	36
2.2.4 Vigas de concreto reforzado con refuerzo en el alma .....	41
2.2.5 Análisis dinámico tridimensional.....	44
2.2.6 Ingeniería de Software .....	48
2.2.7 Programación orientada a objetos.....	51
2.2.8 Lenguaje C++ .....	51
2.2.9 Qt.....	53
2.2.10 OpenGL.....	54
2.2.11 ETABS®.....	54
2.3 Marco Normativo Legal.....	55
CAPÍTULO III.....	64
3 MARCO METODOLÓGICO.....	64
3.1 Tipo de Investigación.....	64

3.2	Diseño de la investigación.....	64
3.3	Descripción de la Metodología.....	65
3.3.1	Establecimiento de los pasos a seguir para el armado de una viga de concreto reforzado según la normativa venezolana vigente .....	65
3.3.2	Desarrollo del algoritmo del programa, basado en el procedimiento de cálculo realizado anteriormente .....	74
3.3.3	Comprobación del algoritmo desarrollado .....	85
3.3.4	Diseño del programa de armado de vigas de concreto reforzado.....	88
3.3.5	Evaluación de la eficiencia del software .....	89
3.4	Población y muestra.....	90
3.5	Técnicas de recolección de datos.....	90
3.6	Análisis de Datos .....	91
CAPÍTULO IV.....		92
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	92
4.1	Algoritmo desarrollado como base del software para el armado de vigas de concreto reforzado92	
4.2	Ejemplo de cálculo manual para la comprobación del funcionamiento del algoritmo 130	
4.3	Diseño del programa de armado de vigas de concreto reforzado, basado en el algoritmo desarrollado.....	130
4.3.1	Funcionamiento del programa.....	130
4.4	Evaluación de la eficiencia del software .....	134
CONCLUSIONES .....		136
RECOMENDACIONES.....		138
BIBLIOGRAFÍA.....		140
APÉNDICE A.....		A-1
APÉNDICE B.....		A-10
APÉNDICE C.....		A-52
APÉNDICE D.....		A-56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapa del concreto no agrietado. Basado en: McCormac (2010). .....	21
Figura 2. Concreto agrietado- Etapa de esfuerzos elásticos. Basado en: McCormac (2010). .....	22
Figura 3. La etapa de resistencia última. Basado en: McCormac (2010). .....	24
Figura 4. Diagrama momento-curvatura para una viga de concreto con refuerzo de tensión. Fuente: McCormac (2010). .....	25
Figura 5. Sección de concreto simplemente reforzada cuando se alcanza la resistencia a flexión. Basado en: Park y Paulay (1994). .....	27
Figura 6. Perfiles de deformación en la resistencia a flexión de una sección. Fuente: Park y Paulay (1994). .....	33
Figura 7. Sección de concreto doblemente reforzada cuando se alcanza la resistencia a flexión. Basado en: Park y Paulay (1994). .....	34
Figura 8. Localizaciones características de combinaciones críticas de cortante y momento. Fuente: Nilson (2001). .....	39
Figura 9. Agrietamiento de tensión diagonal en vigas de concreto reforzado. Fuente: Nilson (2001). .....	40
Figura 10. Tipos de refuerzo en el alma. Fuente: Nilson (2001). .....	42
Figura 11. Fuerzas en una grieta diagonal de una viga con estribos verticales. Fuente: Nilson (2001). .....	43
Figura 12. Conceptos esenciales para crear un programa .....	49
Figura 13. Pasos para la creación y desarrollo de un software. ....	50
Figura 14. Vista de la estructura en tres dimensiones. ....	85
Figura 15. Planta de la estructura y etiqueta de las vigas. ....	86
Figura 16. Espectro de diseño y respuesta utilizado en la estructura. ....	87
Figura 17. Área de acero requerida en cada una de las vigas de la estructura. ....	88
Figura 18. Asociación del dibujo con los valores de las variables. ....	94
Figura 19. Ventana para ingresar las cabillas que conforman el área de acero corrido superior. ....	97
Figura 20. Ventana para ingresar las cabillas que conforman el área de acero corrido inferior. ....	100
Figura 21. Ubicación de coordenadas en la viga calculadas mediante el proceso iterativo, para la realización de empalmes. ....	120
Figura 22. Pantalla inicial del programa. ....	130
Figura 23. Ventana para ingresar los datos del proyecto. ....	131
Figura 24. Ventana para el ingreso de la calidad de los materiales. ....	131

Figura 25.Ventana principal del software. ....	132
Figura 26.Ventana para ingresar el diámetro y cantidad de cabillas. ....	132
Figura 27.Manual de usuario PAV. ....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. ....	75
Tabla 2. ....	134
Tabla 3. ....	A-1

## INTRODUCCIÓN

El armado de vigas de concreto reforzado es una tarea indispensable en todo proyecto de Ingeniería Estructural. Luego de un largo proceso iterativo donde se obtienen las solicitaciones de los elementos se procede a realizar dicha tarea, la cual amerita gran cantidad de tiempo debido a que se debe cumplir con numerosos parámetros normativos. La metodología tradicionalmente utilizada en el desempeño de esta tarea es el cálculo manual, que conlleva por sí misma un margen de error humano considerable. En este sentido, el diseño de un Programa de Armado de Vigas (PAV), representa una alternativa mucho más eficiente y exacta para realizar esa tarea, disminuyendo el tiempo de trabajo y los errores humanos que pueden cometerse al manejar la gran cantidad de información requerida para este proceso.

En vista de que hoy en día, se emplea el uso de software como herramienta indispensable para facilitar el cálculo de estructuras, el presente trabajo pretende proveer a estudiantes y profesionales de un instrumento que ha sido desarrollado con información actualizada, en idioma español y apegada a la normativa legal venezolana vigente, respecto al armado de vigas de concreto reforzado. De esta forma, puede ser empleado por estudiantes de la carrera Ingeniería Civil como un primer acercamiento al diseño de concreto armado, y por profesionales como apoyo en la elaboración de proyectos relacionados.

En este trabajo se muestra paso a paso la metodología de diseño del algoritmo en el que se basa el programa, y se prueba el funcionamiento del mismo mediante comparación con un ejemplo de cálculo manual. También se comprueba su eficiencia, mediante la determinación de la variable tiempo invertido por el usuario, tanto en el método convencional como utilizando el programa. Finalmente se presenta un producto novedoso y actualizado, que constituye una herramienta digital para el armado de vigas de concreto reforzado, y que demuestra eficiencia y

confiabilidad en los cálculos realizados, facilidad de empleo por el usuario al que va dirigido gracias a la elaboración de un manual, y alta calidad gráfica.

## **CAPÍTULO I**

### **1 EL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del Problema**

El desarrollo de un proyecto de ingeniería estructural contempla diferentes etapas, las cuales pueden ser enumeradas a continuación:

1. Estructuración.
2. Pre-diseño.
3. Análisis estructural.
4. Diseño estructural.
5. Elaboración de planos.

Cada una de estas etapas demanda cierta cantidad de tiempo del ingeniero proyectista, por lo que la ingeniería estructural se ha apoyado en la informática para realizar programas que permiten disminuir la demanda de tiempo que cada una de ellas genera. En el mercado existen diferentes software de análisis y diseño estructural, dentro de los cuales se podrían nombrar los creados por la casa Computers and Structures INC: SAP2000®, ETABS®, entre otros. Estos software muestran gran aceptación dentro del gremio de ingenieros proyectistas; sin embargo, a pesar de ser aceptados y considerados como algunos de

los más poderosos en el mercado, las etapas posteriores de diseño estructural y elaboración de planos continúan demandando al proyectista gran cantidad de tiempo y dedicación en el armado.

Es entonces tarea del ingeniero realizar el armado de cada una de las vigas de la edificación a partir del área de acero suministrada. Este proceso requiere tiempo y rigor, debido a que se deben verificar una gran cantidad de parámetros importantes de la Norma Venezolana 1753:2006, *PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL*, con la consecuente posibilidad de cometer errores en el cálculo considerablemente elevada. El tiempo empleado en el armado de las vigas suele ser una parte importante del tiempo total de trabajo que el ingeniero invierte en un proyecto, por lo que la disminución de este tiempo deriva en una mayor eficiencia.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Un programa de armado de vigas de concreto reforzado permitiría elevar la eficiencia en el diseño de vigas por parte de los ingenieros civiles proyectistas?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un programa para armado de vigas de concreto reforzado, a partir del resultado de áreas de acero suministradas por un software de cálculo estructural, que permita aumentar la eficiencia en la elaboración de los proyectos de ingeniería estructural.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos:**

- Estructurar los pasos para el armado de vigas de concreto reforzado, tomando en cuenta los parámetros establecidos en la normativa venezolana vigente.
- Desarrollar el algoritmo del programa para armado de vigas de concreto reforzado.
- Comprobar el algoritmo desarrollado con un ejemplo de cálculo manual.
- Diseñar el programa de armado de vigas de concreto reforzado, basado en el algoritmo desarrollado.
- Evaluar la eficiencia del software en base a la reducción de tiempo de trabajo.

### **1.4 Justificación**

Para la elaboración de un proyecto estructural el ingeniero se apoya en múltiples programas que facilitan el cálculo de estructuras, siempre buscando disminuir los

errores humanos y el tiempo de trabajo. En el mercado venezolano existen pocos programas para el armado de vigas de concreto reforzado basados en la normativa vigente previamente mencionada. Esta es una tarea que requiere que muchos parámetros sean revisados y comparados con los enunciados en la misma normativa por lo que su ejecución toma un tiempo considerable del total de horas de trabajo empleadas en el desarrollo del proyecto.

Sabiendo que en un proyecto se pueden tener cientos de vigas, la cantidad de información requerida para el armado puede ser difícil de organizar y la cantidad de tiempo a emplear aumenta considerablemente, disminuyendo la eficiencia del ingeniero calculista. En muchos casos se suelen generalizar los cálculos, según la experiencia del ingeniero, para ahorrar tiempo de trabajo, lo que puede conducir a una subutilización de los materiales de construcción. Luego de haber realizado el armado, es tarea del dibujante elaborar los planos, labor que muchas veces conlleva a errores, y por tanto, requiere un proceso de verificación del trabajo por parte del ingeniero.

Se quiere entonces elaborar un programa de armado de vigas de concreto reforzado, que sirva de apoyo al ingeniero calculista en sus proyectos. Dicho programa se elaboró con los parámetros de cálculo de la normativa venezolana vigente. Éste software permite disminuir el tiempo de ejecución del proceso de armado de vigas y descartar los errores humanos en el proceso, puesto que se realiza mediante un ordenador, haciendo más eficiente y competitivo el trabajo del ingeniero calculista.

## 1.5 Alcance y Limitaciones

El presente trabajo va dirigido a los ingenieros proyectistas que desarrollan proyectos, que requieren del armado de vigas de concreto reforzado. Por tal razón, se centra en el campo de la Ingeniería Estructural.

El trabajo parte de los resultados de áreas de acero, obtenidos mediante un software de Cálculo Estructural. Se requiere la definición de la geometría de la viga y pórtico, y con ello el programa determina el armado de la misma, pudiéndose visualizar de manera gráfica en el computador y ser impreso. De esta forma puede ser suministrado al dibujante, en versión física y/o digital, para la elaboración de los planos. El armado podrá realizarse para vigas del mismo ancho ( $b$ ), tramos de alturas diferentes ( $h_i$ ), más no de sección variable para esta versión del programa.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la Investigación

A continuación se presentan investigaciones realizadas en el área de estudio dentro de la cual se enmarca este Trabajo Especial de Grado las cuales sirven como basamento teórico, metodológico y soporte comparativo de los resultados obtenidos en este.

Ramírez (1979) *“Aplicación del Computador al Cálculo de Estructuras de Concreto”*. En este trabajo se describen los métodos matriciales en el análisis estructural, principalmente el Método de los Desplazamientos (Método de Rigidez Directa) y de Eliminación de Gauss, siendo este último el seleccionado para la elaboración del programa. El autor en su metodología describe el programa en su totalidad, la entrada de datos, el procesamiento de los datos y la salida de los datos, así como instrucciones para su uso.

El programa solo presenta las reacciones generadas por las solicitaciones a las que están sometidas los pórticos. No diseña las secciones de concreto armado en sí, pero fue una herramienta muy valiosa en una época en que las computadoras

casi destinadas únicamente a los laboratorios y centros de investigación. Demostró el autor en su estudio la aplicación de los Métodos Matriciales para la solución de sistemas extensos de ecuaciones, en el análisis estructural.

Carrasco y De Pool (1985) *“Uso del Computador Digital para el Análisis y Diseño de Elementos Estructurales en Concreto Armado para Viviendas Unifamiliares”*. Este trabajo tuvo como objetivo elaborar una serie de programas de computación para simplificar el proceso de cálculo de edificaciones en Concreto Armado para uso habitacional unifamiliar usando el computador y facilitando su cálculo. Una vez más se decide que el lenguaje de programación más adecuado es el Basic, por su sencillez y adaptabilidad para ser comprendido y empleado por personas cuya actividad principal no es la programación.

Se elaboraron programas para el cálculo de losas, vigas, columnas y fundaciones, y una base de datos para la resolución de estructuras porticadas. Demostrando la utilidad del uso del computador digital para el cálculo de miembros estructurales de viviendas unifamiliares, reflejándose en una economía de tiempo para el calculista en la elaboración de este tipo de proyectos.

Araujo y Acuña (2002) *“Desarrollo de un Software para el Análisis Estático de Estructuras Porticadas Bidimensionales como miembros de Directriz Recta”*. Según lo que se plantea por los autores se decide crear un software en lenguaje visual de cálculo estructural, que sirve de apoyo para los estudiantes en el aprendizaje de las materias de estructuras y les abra el camino para incentivarlos a desarrollos de software en la Escuela de Ingeniería Civil.

Es de gran utilidad este Trabajo de Grado por el contenido teórico en que se enfoca, definiendo los métodos necesarios para el cálculo de las estructuras porticadas, tomando en cuenta la matriz de rigidez y definiéndola de manera muy específica. Da ejemplos muy concretos del uso de la matriz y de las variables que la componen.

Agudo (2004) *“Adecuación del Programa DISCARLE para el Diseño de Secciones de Concreto Armado para su Implementación en la Cátedra de Ingeniería Estructural”*. En este Trabajo de Grado se logró crear el DISCARLE 2.0 un programa de computadoras para el cálculo de Secciones de Concreto Armado a partir de aplicarle mejoras, revisiones y actualizaciones a DISCARLES 1.0, la versión original existente del programa, creada por el Ingeniero Leandro Sosa; con el propósito de que cumpla con los requisitos mínimos planteados por el investigador para lograr los objetivos propuestos en este trabajo, que son la adecuación del programa DISCARLE para su funcionamiento bajo el Sistema Operativo Windows y que su estructura y método de cálculo estén acordes con las normas vigentes, además de presentar los resultados en una forma que los estudiantes y docentes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo estén familiarizados.

Rivas y Vargas (2009) *“Diseño de un programa para la solución de sistemas aporticados en 3 dimensiones”*. En la elaboración de este trabajo de grado los autores buscan en primer lugar modernizar la biblioteca de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo con un programa de cálculo estructural que sea de fácil acceso y fácil manipulación mediante la elaboración de un software que permita el cálculo de sistemas aporticados en 3 dimensiones.

Es de gran utilidad porque permite continuar el proyecto y así aportar soluciones a las diferentes limitantes que presento su elaboración, fortaleciéndolo y ajustándolo pero sin perder la misma línea de trabajo que es que sea confiable, de fácil acceso y sobre todo que le permita al usuario la fácil manipulación.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Vigas sometidas a flexión**

Las vigas de concreto reforzado no son homogéneas debido a que están hechas de dos materiales diferentes. Nilson (2001) señala por consiguiente que los métodos usados en el análisis de vigas de concreto reforzado son distintos de aquellos utilizados en el diseño o investigación de vigas elaboradas completamente de acero, madera o cualquier otro material estructural. Sin embargo, los principios fundamentales que los comprenden son esencialmente los mismos. En resumen, estos principios son: i) en cualquier sección transversal existen fuerzas internas que pueden descomponerse en fuerzas normales y tangenciales a la sección ii) las componentes normales a la sección conforman los esfuerzos de flexión (tensión en un lado del eje neutro y compresión en el otro), su función es la de resistir el momento flector que actúa en la sección; iii) las componentes tangenciales se conocen como esfuerzos cortantes que resisten las fuerzas transversales o cortantes.

### 2.2.1.1 Comportamiento de vigas de concreto reforzado

#### ***Etapa del concreto no agrietado***

McCormac (2010) explica que bajo cargas pequeñas, cuando los esfuerzos de tensión son menores que el módulo de ruptura (esfuerzo de tensión por flexión bajo el cual el concreto empieza a agrietarse), la sección transversal total de la viga resiste la flexión, con compresión en un lado y tensión en el otro. En la Figura 1 se muestra la variación de los esfuerzos y de las deformaciones unitarias bajo la acción de pequeñas cargas.

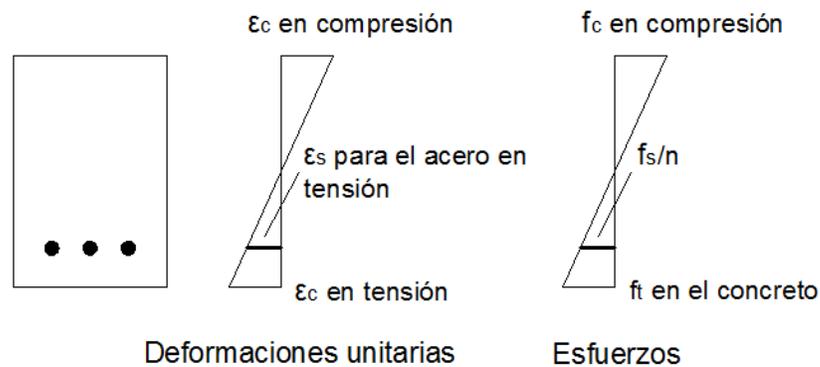


Figura 1. **Etapa del concreto no agrietado.** Basado en: McCormac (2010).

#### ***Concreto agrietado-Etapa de esfuerzos elásticos***

Al incrementarse la carga después de que el módulo de ruptura se ha excedido, McCormac (2010) sostiene que empiezan a desarrollarse grietas en el lado inferior de la viga. El momento cuando empiezan a formarse las grietas, es decir, cuando los esfuerzos de tensión en el lado inferior de la viga son iguales al módulo de ruptura, se denomina momento de agrietamiento ( $M_{agr}$ ). Al aumentar la carga, esas grietas se extienden rápidamente hacia el eje neutro, el cual empieza a desplazarse hacia

arriba. Las grietas se presentan en aquellos lugares a lo largo de la viga, donde el momento actual es mayor que el momento de agrietamiento, tal como se muestra en la Figura 2(a).

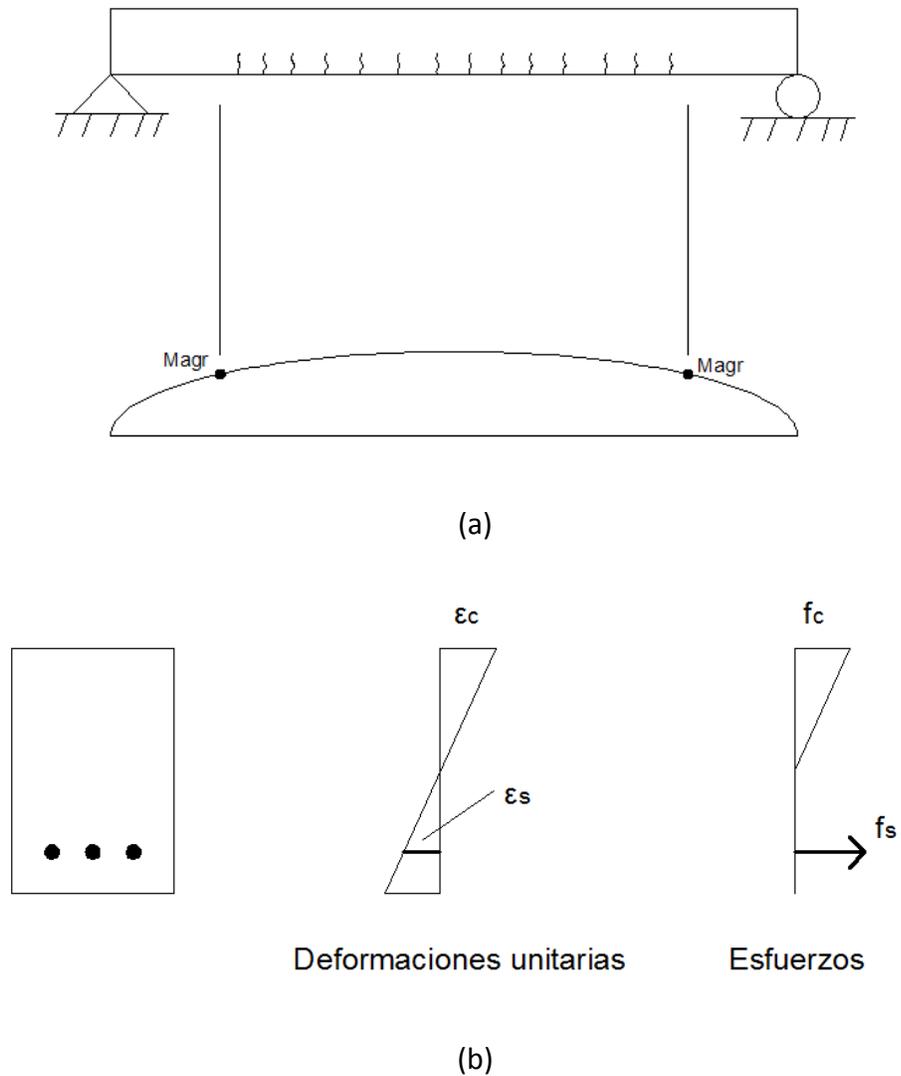


Figura 2. **Concreto agrietado- Etapa de esfuerzos elásticos.** Basado en: McCormac (2010).

Una vez que el lado inferior de la viga se ha agrietado, empieza una nueva etapa, porque el concreto en la zona agrietada no puede resistir esfuerzos de tensión (el acero debe resistirlos). Esta etapa continuará mientras los esfuerzos de compresión en las fibras sean menores que la mitad de la resistencia a compresión del concreto ( $f'_c$ ) aproximadamente, y mientras el esfuerzo en el acero sea menor que su punto de fluencia. En la Figura 2(b) se muestran los esfuerzos y las deformaciones unitarias para esta etapa. Nótese que los esfuerzos de compresión varían linealmente con la distancia del eje neutro o bien como una recta. La variación lineal de los esfuerzos y de las deformaciones se presenta usualmente en el concreto reforzado bajo condiciones normales de carga de servicio, ya que bajo esa carga los esfuerzos son generalmente inferiores a  $0,50 f'_c$ . Para calcular los esfuerzos en el concreto y en el acero en esta etapa, se usa el método de la sección transformada.

#### ***Falla de la viga –Etapa de resistencia última***

Para este caso McCormac (2010) establece que, conforme la carga crece hasta que los esfuerzos de compresión sean mayores que  $0,50 f'_c$ , las grietas de tensión se desplazan aún más hacia arriba, igual que lo hace el eje neutro; por ello los esfuerzos en el concreto empiezan a dejar de ser lineales. Para este análisis se supone que las barras de refuerzo han cedido. La variación de esfuerzos es parecida a la mostrada en la Figura 3.

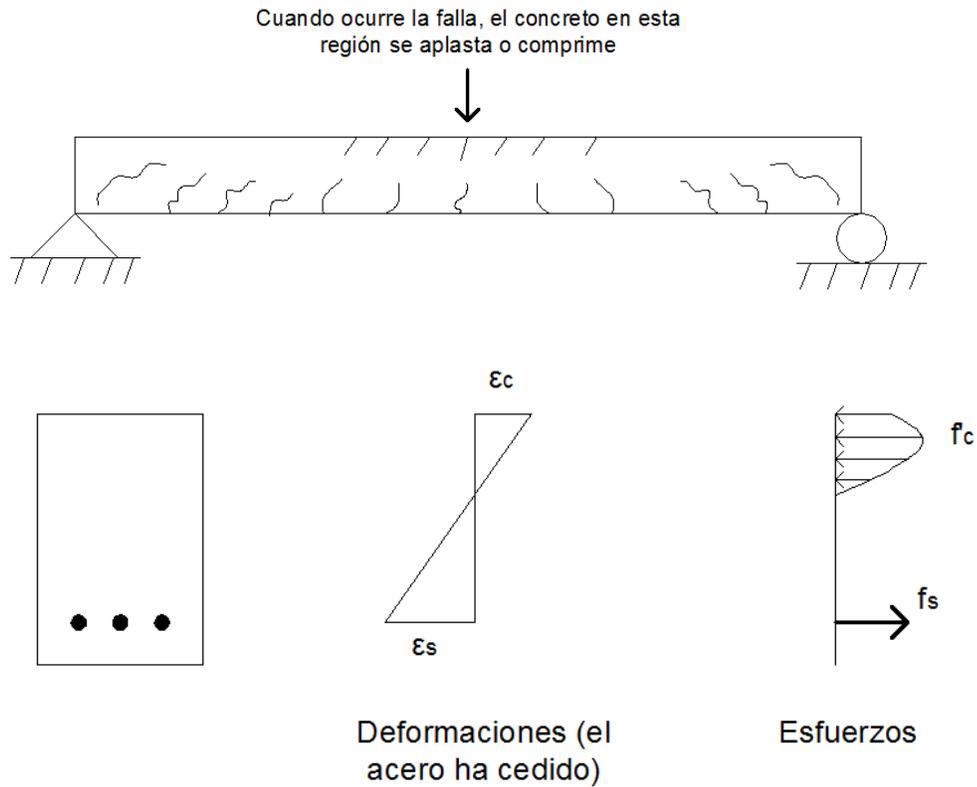


Figura 3. La etapa de resistencia última. Basado en: McCormac (2010).

### ***Diagrama momento-curvatura***

Para ilustrar las tres etapas del comportamiento de una viga descritos anteriormente McCormac (2010), las muestra en un diagrama momento-curvatura (Figura 4):

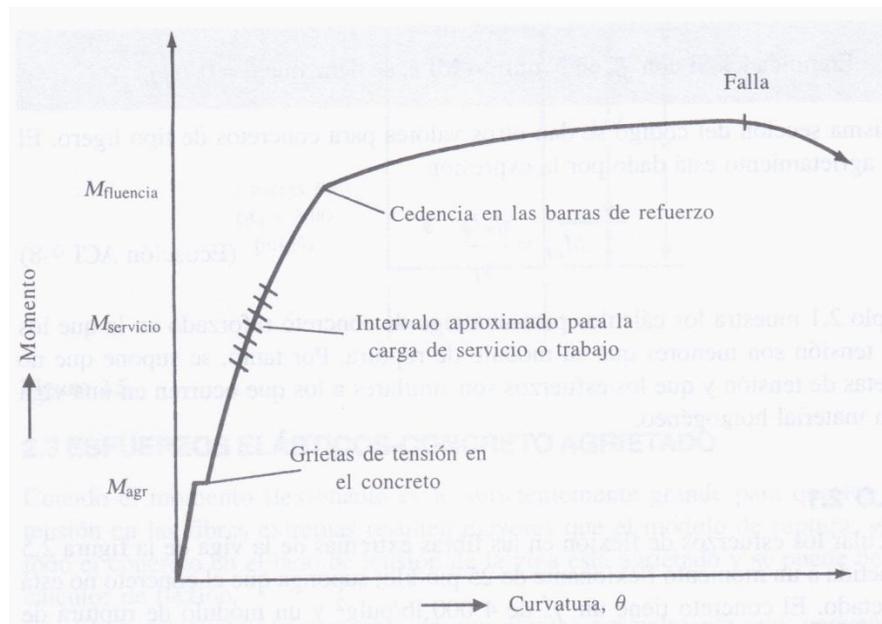


Figura 4. **Diagrama momento-curvatura para una viga de concreto con refuerzo de tensión.** Fuente: McCormac (2010).

En el diagrama  $\theta$  constituye el cambio angular de la viga de cierta longitud. Esta variable se puede calcular de la siguiente forma:

$$\theta = \frac{\varepsilon}{y}$$

donde  $\varepsilon$  constituye la deformación unitaria de una fibra de la viga a una distancia  $y$  del eje neutro.

La primera etapa del diagrama es para momentos pequeños menores que el momento de agrietamiento  $M_{agr}$ , donde se dispone de toda la sección transversal de la viga para resistir la flexión. En esta etapa, las deformaciones unitarias son pequeñas y el diagrama es casi vertical y muy parecido a una línea recta.

Cuando el momento crece más allá del valor de agrietamiento, la pendiente de la curva disminuye un poco debido a que la viga ya no es tan rígida como en la etapa inicial anterior al agrietamiento del concreto. El diagrama describirá casi una línea recta de  $M_{agr}$  hasta el punto en que el refuerzo queda sometido a su punto de fluencia. Hasta alcanzarse el esfuerzo de fluencia en el acero, se requiere una carga adicional bastante grande para incrementar apreciablemente la deflexión de la viga.

Después el acero fluye plásticamente, la viga tiene muy poca capacidad adicional por momento y se requiere tan sólo una pequeña carga adicional para incrementar considerablemente las deflexiones. En esta etapa la pendiente es muy ligera. (McCormac (2010), p. 42)

## **2.2.2 Resistencia de miembros sometidos a flexión para miembros rectangulares**

Debido a que el programa funcionará para vigas de sección rectangular, se presentará la metodología para el cálculo de la resistencia para miembros de este tipo de sección transversal.

### **2.2.2.1 Secciones simplemente reforzadas**

Para la Figura 5 se observa una sección de concreto simplemente reforzada cuando alcanza la resistencia a flexión en la sección. Park y Paulay (1994) establecen que la fuerza interna de tensión es

$$T = A_s \times f_s \quad (2.1)$$

en que  $A_s$ : área del acero y  $f_s$ : esfuerzo en el acero.

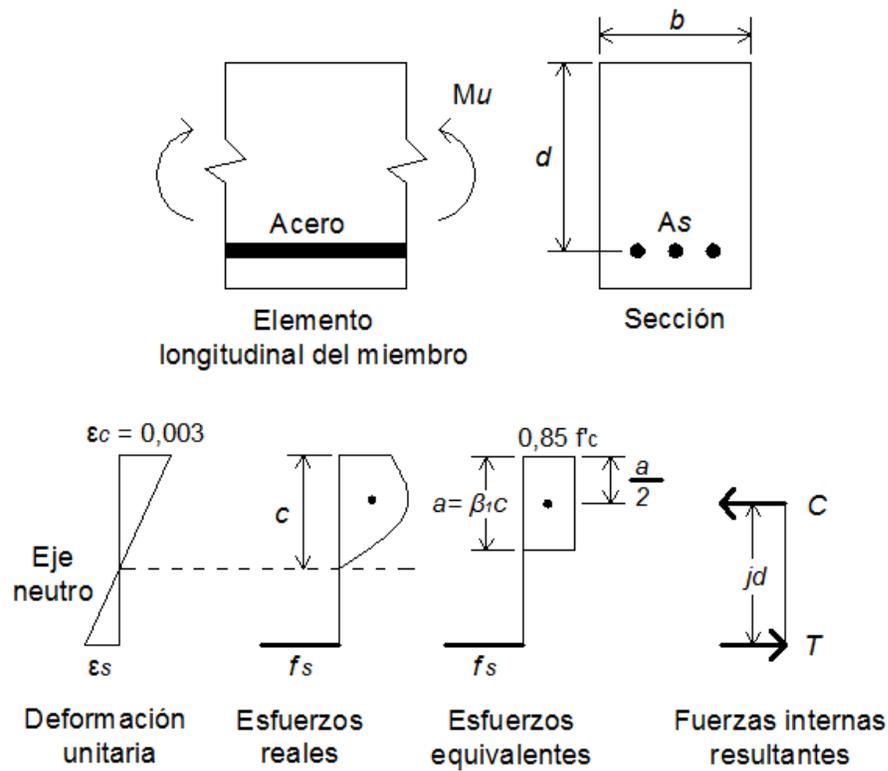


Figura 5. Sección de concreto simplemente reforzada cuando se alcanza la resistencia a flexión. Basado en: Park y Paulay (1994)

Como el espesor del acero es pequeño comparado con el peralte de la sección, se supone que el esfuerzo en toda el área del acero es uniforme e igual al esfuerzo en el centroide del área del acero.

La fuerza resultante interna de compresión en el concreto es

$$C = 0,85f'_c \times a \times b \quad (2.2)$$

Donde:

$a$ : peralte del bloque de esfuerzos rectangular equivalente.

$b$ : ancho de la sección.

$f'_c$ : resistencia del cilindro a compresión del concreto.

La expresión

$$jd = d - 0,5a \quad (2.3)$$

da la distancia entre las fuerzas internas resultantes, conocida como el brazo de palanca interno, en donde  $d$  es la distancia desde la fibra extrema de compresión al centroide del área de acero, y se conoce como peralte efectivo.

En consecuencia, el momento de resistencia es

$$M_u = Tjd = Cjd \quad (2.4)$$

### ***Falla a tensión***

Park y Paulay (1994) afirman que:

Si el contenido de acero de la sección es bajo, el acero alcanza la resistencia  $f_y$  de cedencia antes que el concreto alcance su capacidad máxima. La fuerza del acero  $A_s f_y$  permanece entonces constante a mayores cargas. Una ligera carga adicional ocasiona una elongación plástica grande del acero a través de las grietas de flexión, lo que produce un agrietamiento ancho y un aumento grande en la deformación en la fibra extrema a compresión del concreto. Debido a este aumento en la deformación, la distribución del esfuerzo de compresión en el concreto deja de ser lineal, lo que produce un aumento en el esfuerzo medio del bloque de esfuerzos de compresión, y una reducción en la profundidad del eje neutro puesto que se debe mantener el equilibrio de las fuerzas internas. La reducción de la profundidad del eje neutro provoca un ligero aumento en el brazo de palanca, y por tanto en el momento de resistencia. La resistencia a flexión de la sección (momento máximo de resistencia) se alcanza cuando la deformación en la fibra extrema a compresión del concreto es aproximadamente 0,003. (p.66)

Cabe considerar según los mismos autores para una falla a tensión,  $f_s = f_y$  en que  $f_y$  es la resistencia de cedencia del acero; por equilibrio,  $C = T$ . Sustituyendo en las ecuaciones (2.1) y (2.2) se obtiene

$$0,85f'_c ab = A_s f_y \quad \therefore a = \frac{A_s f_y}{0,85f'_c b} \quad (2.5)$$

Por lo tanto sustituyendo en las ecuaciones (2.3) y (2.4) se pueden escribir las siguientes ecuaciones

$$M_u = A_s f_y (d - 0,50a) \quad (2.6a)$$

$$M_u = A_s f_y \left( d - 0,59 \frac{A_s f_y}{f'_c b} \right) \quad (2.6b)$$

$$M_u = \rho b d^2 f_y \left( 1 - 0,59 \frac{A_s f_y}{f'_c b} \right) \quad (2.6c)$$

$$M_u = \rho b d^2 f'_c \omega (1 - 0,59\omega) \quad (2.6d)$$

en que

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

y

$$\omega = \frac{\rho f_y}{f'_c}$$

### **Falla a compresión**

Park y Paulay (1994) indican que si el contenido de acero de la sección es grande, el concreto puede alcanzar su capacidad máxima antes de que ceda el acero. En tal caso aumenta considerablemente la profundidad del eje neutro, lo que provoca un aumento en la fuerza de compresión. Esto se compensa ligeramente por una reducción en el brazo de palanca. Nuevamente se alcanza la resistencia a flexión de la sección cuando la deformación en la fibra a compresión extrema del concreto es aproximadamente 0,003. Entonces la sección falla repentinamente en forma frágil, lo cual es indeseado ya que puede haber poca advertencia visible de la falla, debido a que los anchos de las grietas de flexión en la zona a tensión del concreto en la sección de falla son pequeñas, debido al bajo esfuerzo del acero.

Para una falla a compresión se tiene que  $f_s < f_y$  ya que el acero permanece dentro del rango elástico. Se puede determinar el esfuerzo del acero en términos de la profundidad del eje neutro, considerando los triángulos semejantes del diagrama de deformaciones.

$$\frac{\varepsilon_s}{0,003} = \frac{d - c}{c} \quad \therefore \varepsilon_s = 0,003 \frac{d - c}{c} \quad (2.7)$$

$$\therefore f_s = \varepsilon_s E_s = 0,003 \frac{d - c}{c} E_s \quad (2.8a)$$

ya que  $a = \beta_1 c$

$$f_s = 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \quad (2.8b)$$

Por equilibrio,  $C = T$ , de las ecuaciones (2.1) y (2.2) se tiene

$$0,85f'_c ab = A_s f_s = 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s A_s$$

$$\therefore \left( \frac{0,85f'_c}{0,003E_s \rho} \right) a^2 + ad - \beta_1 d^2 = 0 \quad (2.9)$$

Si se obtiene  $a$  de la ecuación(2.9) y de las ecuaciones (2.3) y (2.4) se tiene la siguiente ecuación para el cálculo de momento último

$$M_u = 0,85f'_c ab(d - 0,5a) \quad (2.10)$$

### **Falla balanceada**

Según Park y Paulay (1994): “Para una cuantía específica de acero, éste alcanza la resistencia de cedencia  $f_y$  y simultáneamente el concreto alcanza la deformación a compresión de la fibra extrema de 0,003.” (p. 69)

Entonces  $\varepsilon_s = f_y/E_s$ , y de los triángulos semejantes del diagrama de deformación Park y Paulay (1994) indican que

$$\frac{f_y/E_s}{0,003} = \frac{d - c_b}{c_b}$$

en que  $c_b$ : profundidad del eje neutro para una falla balanceada

$$\therefore c_b = \frac{0,003E_s}{0,003E_s + f_y} d \quad (2.11)$$

ó

$$a_b = \frac{0,003E_s}{0,003E_s + f_y} \beta_1 d \quad (2.12)$$

donde  $a_b$  = peralte del bloque de esfuerzos rectangulares equivalente para una falla balanceada.

Por equilibrio,  $C = T$ ; en consecuencia se tiene

$$0,85f'_c a_b d = A_s f_y = \rho_b b d f_y$$

en que

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

para una falla balanceada

$$\rho_b = \frac{0,85f'_c a_b}{f_y d} \quad (2.13)$$

Sustituyendo la ecuación (2.12) en la ecuación (2.13) se obtiene

$$\rho_b = \frac{0,85f'_c \beta_1}{f_y} \frac{0,003E_s}{0,003E_s + f_y} \quad (2.14)$$

En el caso general cuando  $\rho$  para la sección es distinta de  $\rho_b$ , el tipo de falla que ocurre depende de si  $\rho$  es mayor o menor que  $\rho_b$ . La Figura 6 muestra los perfiles de deformación en una sección en la resistencia a flexión para tres cuantías distintas de acero. La profundidad del eje neutro depende de la cuantía de acero. Finalmente:

- Cuando  $\rho < \rho_b$ , ocurre una falla a tensión.
- Cuando  $\rho > \rho_b$ , ocurre una falla a compresión.

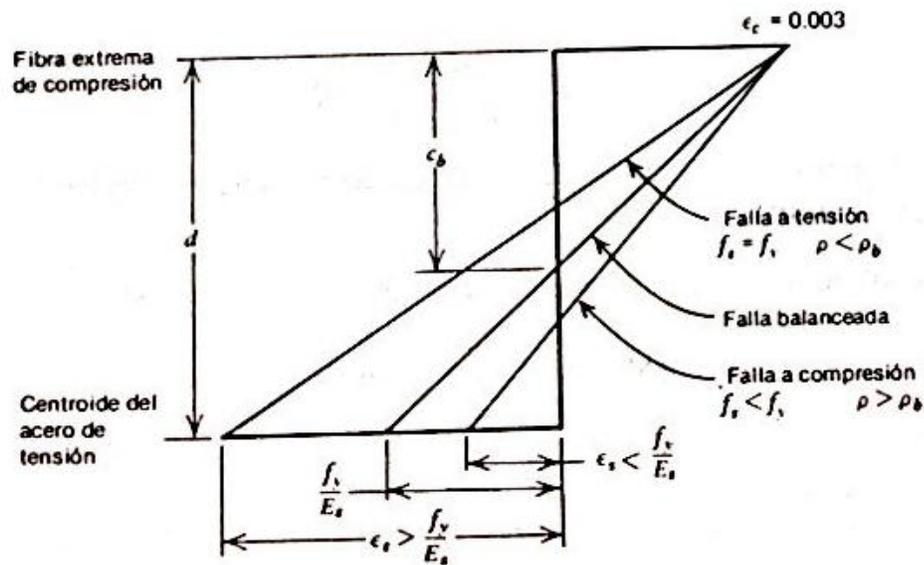


Figura 6. **Perfiles de deformación en la resistencia a flexión de una sección.** Fuente: Park y Paulay (1994).

#### 2.2.2.2 Secciones doblemente reforzadas

##### **Análisis de secciones doblemente reforzadas**

La Figura 7 muestra una sección doblemente reforzada, cuando se alcanza la resistencia a flexión. Park y Paulay (1994) explican que dependiendo de las áreas y posiciones del acero, el acero a tensión y a compresión puede estar o no en la resistencia de cedencia cuando se alcanza el momento máximo. Sin embargo, la mejor forma de desarrollar el análisis de esa sección es suponiendo primero que todo el acero está cediendo, modificando luego los cálculos si se encuentra que parte o todo el acero no está en tal condición.

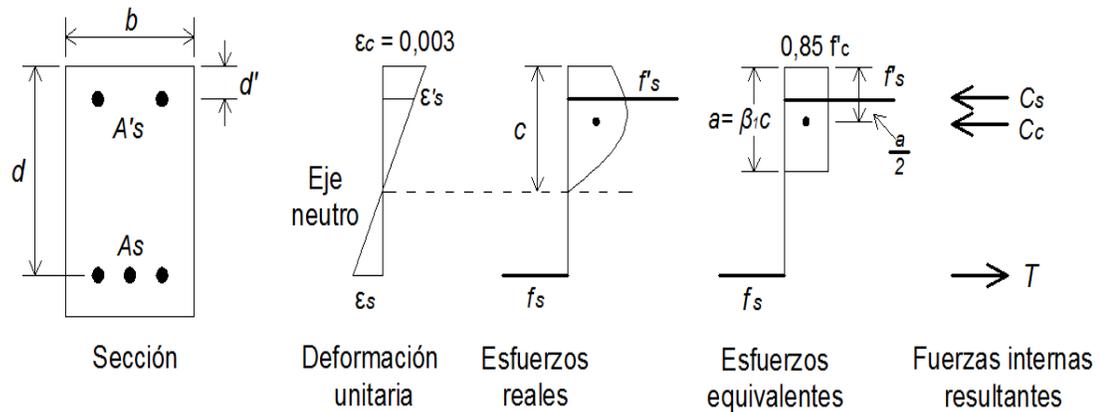


Figura 7. Sección de concreto doblemente reforzada cuando se alcanza la resistencia a flexión. Basado en: Park y Paulay (1994).

Si todo el acero está en cedencia,  $f_s = f'_s = f_y$ , en que  $f_s$  es el esfuerzo en el acero a tensión,  $f'_s$  es el esfuerzo de acero a compresión, y  $f_y$  es la resistencia de cedencia del acero. Por consiguiente, las fuerzas internas resultantes son:

Compresión en el concreto

$$C_c = 0,85 f'_c a b \quad (2.15)$$

Compresión en el acero

$$C_s = A'_s f_y \quad (2.16)$$

en que  $A'_s$ : área del acero a compresión

$$T = A_s f_y \quad (2.17)$$

en que  $A_s$ : área del acero a tensión.

Por equilibrio, se tiene:

$$C = C_c + C_s = T \quad \therefore \quad 0,85 f'_c a b + A'_s f_y = A_s f_y$$

$$a = \frac{(A_s - A'_s)f_y}{f'_c b} \quad (2.18)$$

Se puede utilizar el diagrama de deformaciones para verificar si el acero está cediendo. El acero está en esfuerzo de cedencia, si su deformación excede  $f_y/E_s$ . De los triángulos semejantes en el diagrama de deformaciones se tiene

$$\varepsilon'_s = 0,003 \frac{c - d'}{c} = 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} \quad (2.19)$$

$$\varepsilon_s = 0,003 \frac{d - c}{c} = 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a} \quad (2.20)$$

$$\therefore f'_s = f_y \quad \text{Si } 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (2.21)$$

y

$$f_s = f_y \quad \text{Si } 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (2.22)$$

Si se mantienen estas condiciones, es correcta la suposición de que todo el acero está cediendo y tomando momentos alrededor del acero a tensión, la resistencia a flexión está dada por

$$M_u = 0,85 f'_c a b \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d') \quad (2.23)$$

Cuando las comprobaciones mediante las ecuaciones (2.21) y (2.22) revelan que el acero no está cediendo, el valor de  $a$  calculado de la ecuación (2.18) es incorrecto, y se debe calcular el esfuerzo real del acero y  $a$  a partir de la ecuación de equilibrio y del diagrama de deformación: en consecuencia, de la ecuación de equilibrio se tiene en general

$$a = \frac{A_s f_s - A'_s f'_s}{0,85 f'_c b} \quad (2.24)$$

en que del diagrama de deformaciones

$$f'_s = \varepsilon'_s E_s = 0,003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} E_s \quad \text{ó} \quad f_y \quad (2.25)$$

$$f_s = \varepsilon_s E_s = 0,003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \quad \text{ó} \quad f_y \quad (2.26)$$

y entonces

$$M_u = 0,85 f'_c a b \left( d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s (d - d') \quad (2.27)$$

En las vigas doblemente reforzadas pueden ocurrir fallas a tensión y a compresión, igual que en vigas simplemente reforzadas. En las fallas a tensión cede el acero a tensión, pero en las fallas a compresión el acero a tensión permanece dentro del rango elástico; en ambos tipos de falla el acero a compresión puede o no estar cediendo. En las vigas reales el acero a tensión siempre estará cediendo y con mucha frecuencia la deformación en el nivel del acero a compresión es suficientemente grande para que igualmente ese acero esté en esfuerzo de cedencia. A mayor valor de  $a$ , y a menores valores de  $d'$  y  $f_y$ , es más probable que el acero a compresión esté cediendo. En vez de desarrollar ecuaciones generales para todos los casos, es mejor deducir cada caso numéricamente a partir de los principios fundamentales. (Park y Paulay, 1994, p. 85)

### 2.2.3 Cortante y tensión diagonal en vigas

Park y Paulay (1994) señalan que la gran mayoría de los miembros estructurales de concreto reforzado no pueden escapar de tener que resistir fuerzas cortantes. Estas fuerzas rara vez actúan por sí mismas, sino en combinación con flexión, carga axial y hasta torsión. Además de identificar el efecto de las fuerzas cortantes que

actúan por sí solas, es necesario examinar las interacciones posibles con las otras acciones estructurales. En los miembros a flexión en especial, los mecanismos que resisten el cortante interactúan íntimamente con la adherencia entre el concreto y el refuerzo y el anclaje de éste.

La transmisión de cortante en las vigas de concreto reforzado se apoya fuertemente en la resistencia a tensión y compresión del concreto. En consecuencia, no es de sorprender que una falla a cortante por lo general sea no dúctil. En consecuencia, se debe intentar suprimir dicha falla. En especial, en las estructuras resistentes a sismos se pone gran atención a la ductilidad, razón por la que el diseñador debe asegurarse de que jamás ocurra una falla a cortante, lo que implica que cuando es esencial la ductilidad, la resistencia a cortante del miembro debe ser algo mayor que la resistencia máxima a flexión que éste podría desarrollar.

A pesar de la formación de grietas en tensión en el concreto, el acero proporciona la resistencia que se requiere para la tensión por flexión y la viga puede soportar entonces cargas mucho mayores. Los esfuerzos cortantes aumentan proporcionalmente con las cargas; en consecuencia, se generan esfuerzos de tensión diagonal de intensidad significativa en regiones de altas fuerzas cortantes, en especial cerca de los apoyos. El refuerzo longitudinal a tensión ha sido calculado y colocado de manera que sea efectivo principalmente para resistir la tensión longitudinal cerca de la cara en tensión. Éste no proporciona refuerzo al concreto débil a tensión contra los esfuerzos de tensión diagonal que ocurren en otros sitios, causados por el cortante solo o por el efecto combinado de cortante y flexión. Eventualmente, estos esfuerzos alcanzan magnitudes suficientes para abrir grietas de tensión adicionales, en dirección perpendicular a la del esfuerzo de tensión local. Éstas se conocen como grietas *diagonales* para diferenciarlas de las grietas verticales de flexión. Éstas últimas se presentan en las regiones de momentos grandes, mientras que las primeras ocurren en regiones de grandes fuerzas cortantes. La aparición de importantes grietas de tensión diagonal en vigas sin refuerzo para este efecto, tiene gran trascendencia y resulta muy perjudicial para la viga, por esta razón conviene utilizar métodos que pronostiquen las cargas con las cuales se forman esta clase de grietas. (Nilson, 2001, p.109)

### ***Criterios para la formación de grietas diagonales***

Los esfuerzos de tensión diagonal  $t$  representan el efecto combinado de los esfuerzos cortantes  $v$  y de los esfuerzos flectores  $f$ , como lo indica Nilson (2001). Debido a la acción combinada de los esfuerzos cortantes (horizontal y vertical) y de los esfuerzos de flexión, se presentan esfuerzos inclinados de tensión y compresión en cualquier punto de la viga, de los cuales el mayor forma un ángulo de  $90^\circ$  con el otro. La magnitud del máximo esfuerzo inclinado o esfuerzo principal en cualquier punto está dada por

$$t = \frac{f}{2} \pm \sqrt{\frac{f^2}{4} + v^2} \quad (2.28)$$

donde

$f$ : magnitud del esfuerzo normal en la fibra

$v$ : magnitud de los esfuerzos cortantes tangenciales

El esfuerzo inclinado forma un ángulo  $\alpha$  con la horizontal tal que  $\tan 2\alpha = 2v/f$  (p. 63)

De acuerdo con la configuración, las condiciones de apoyo y la distribución de la carga, una sección determinada en una viga puede tener un momento grande combinado con una pequeña fuerza cortante o, por el contrario, valores grandes o pequeños tanto para la cortante como para el momento. Evidentemente, estos valores relativos de  $M$  y  $V$  afectarán tanto la magnitud como la dirección de los esfuerzos de tensión diagonal. La Figura 8 muestra algunas vigas características y sus diagramas de momento y cortante, y resalta la localización de varias combinaciones de valores grandes y pequeños de  $V$  y  $M$ .

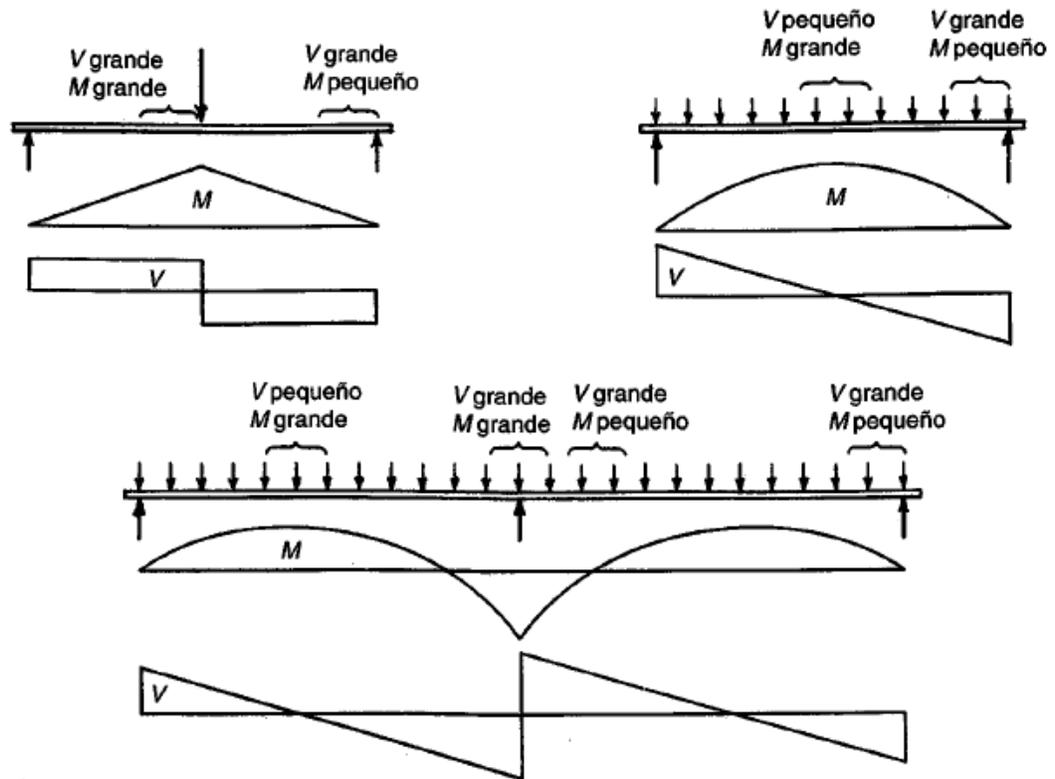


Figura 8. Localizaciones características de combinaciones críticas de cortante y momento. Fuente: Nilson (2001).

Para una sección con gran fuerza cortante  $V$  y un pequeño momento flector  $M$ , se presentará muy poco o ningún agrietamiento por flexión antes del desarrollo de la grieta de tensión diagonal. En consecuencia, el esfuerzo cortante promedio antes de la formación de grietas es

$$v = \frac{V}{bd} \quad (2.29)$$

Cuando en una sección particular los esfuerzos flectores son despreciables, los esfuerzos de tensión diagonal, resultan con una inclinación aproximada de  $45^\circ$  y son numéricamente iguales a los esfuerzos cortantes, con un máximo en el eje neutro. En consecuencia, la mayor parte de las grietas diagonales se formarán en o cerca del eje neutro y se propagarán a partir de este punto como se observa en la Figura 9a.

La formación de estas grietas, llamadas de cortante en el alma, puede ocurrir cuando el esfuerzo de tensión diagonal en las proximidades del eje neutro alcanza valores similares al de la resistencia a la tensión del concreto. Las grietas de cortante en el alma son relativamente raras y se presentan en especial cerca de los apoyos de vigas de gran altura y alma delgada, o en los puntos de inflexión de vigas continuas.

La situación es diferente cuando tanto la fuerza cortante como el momento flector tienen valores grandes. Para una viga bien dimensionada y reforzada, en una sección con las características anteriores, las grietas de tensión por flexión son las que se presentan en primera instancia. Su ancho y longitud están controlados y se mantienen pequeños gracias a la presencia del refuerzo longitudinal. No obstante, cuando el refuerzo de tensión diagonal en la parte superior de una o más de estas grietas excede la resistencia a la tensión del concreto, la grieta se inclina a una dirección diagonal y continúa abriéndose y alargándose como en la Figura 9b. Estas grietas se conocen como grietas de cortante y flexión y son más comunes que las grietas de cortante en el alma.

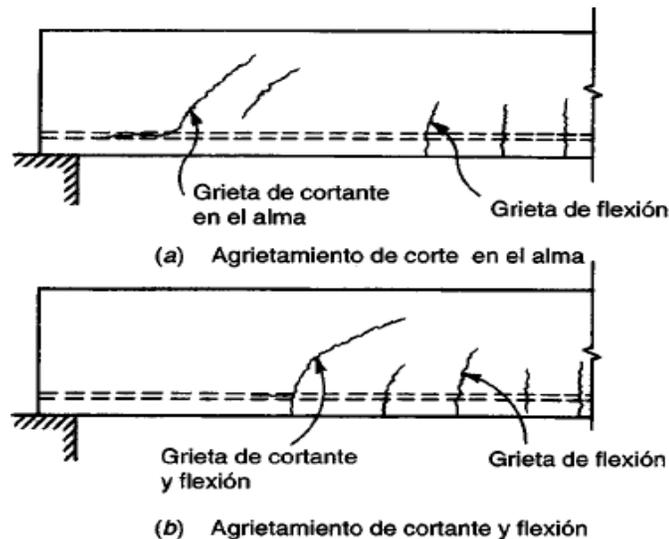


Figura 9. Agrietamiento de tensión diagonal en vigas de concreto reforzado. Fuente: Nilson (2001).

### ***Comportamiento de vigas agrietadas diagonalmente***

Nilson (2001) indica que se observan dos tipos de comportamiento en los diversos ensayos los cuales se basa el conocimiento actual:

- Una vez formada, la grieta diagonal se prolonga bien sea de manera inmediata o bajo una carga ligeramente superior, atraviesa la viga por completo desde el refuerzo a tensión hasta la cara de compresión y la separa en dos, produciendo en consecuencia la falla. Este proceso es súbito no da aviso y ocurre principalmente en vigas de poca altura relativa (...). La ausencia completa de refuerzo a cortante las haría muy vulnerables a grandes sobrecargas accidentales, que producirían fallas catastróficas sin ningún aviso.
- De manera alternativa, la grieta diagonal, una vez formada, se propaga hacia y parcialmente dentro de la zona de compresión, pero se detiene un poco antes de la penetración en la cara de compresión. En este caso no ocurre un colapso súbito y la carga de falla puede ser significativamente mayor que aquella para la cual se formó la grieta diagonal por primera vez. Este comportamiento se observa en especial en vigas de mayor altura relativa con menores relaciones luz-altura. (Nilson, 2001, p.112)

#### **2.2.4 Vigas de concreto reforzado con refuerzo en el alma**

##### ***Tipos de refuerzo en el alma***

Nilson (2001) comenta que en general, el refuerzo en el alma se suministra en forma de estribos verticales espaciados a intervalos variables a lo largo del eje de la viga según lo requerido, como indica la Figura 10a.

Los estribos se conforman para ajustarse alrededor de las barras longitudinales principales, ver Figura 10b. A causa de la longitud relativamente corta del estribo

embebido en la zona de compresión de la viga, en la mayor parte de los casos se debe proporcionar anclaje especial en forma de ganchos o doblamientos.

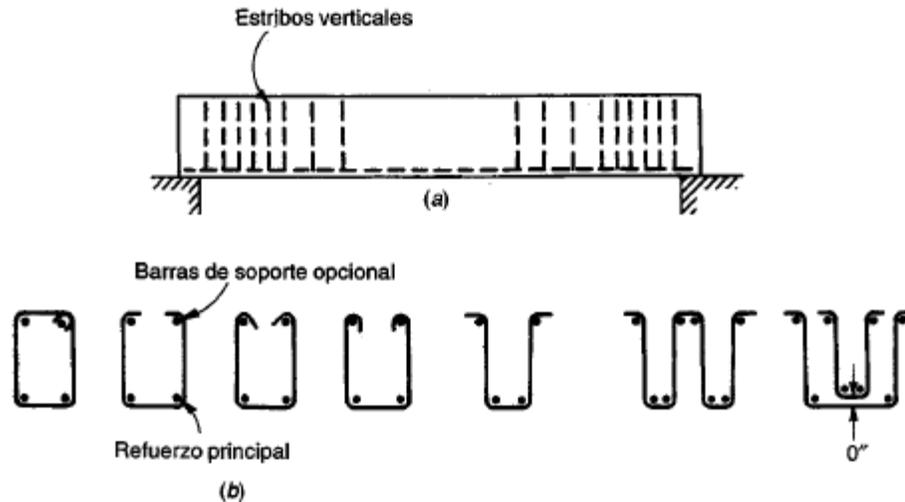


Figura 10. Tipos de refuerzo en el alma. Fuente: Nilson (2001).

### ***Comportamiento de vigas de concreto con refuerzo en el alma***

El refuerzo en el alma no tiene un efecto perceptible previo a la formación de grietas diagonales. De hecho, mediciones realizadas demuestran que el acero en el alma está prácticamente libre de esfuerzos antes de la formación de las grietas. Después de que se desarrollan las grietas diagonales, el refuerzo en el alma aumenta la resistencia a cortante de la viga de cuatro maneras diferentes:

1. Las barras que atraviesan la grieta particular resisten parte de la fuerza cortante (...).
2. La presencia de estas mismas barras restringe el crecimiento de las grietas diagonales y reduce su penetración dentro de la zona de compresión. Esto deja mayor concreto no fisurado en la cabeza de la grieta para resistir la acción combinada del cortante y de la compresión (...).
3. Los estribos también contrarrestan el ensanchamiento de las grietas de manera que las dos caras de la grieta permanecen en estrecho contacto. Esto produce una fuerza de interfase  $V_i$  significativa y confiable.

4. (...), los estribos están distribuidos de manera que amarren el refuerzo longitudinal al cuerpo principal de concreto. Esto provee alguna medida de restricción contra el fracturamiento del concreto a lo largo del refuerzo longitudinal, y aumenta la parte de fuerza cortante resistida por la acción de dovela. (Nilson, 2001, p.117)

En la Figura 11 se señalan las fuerzas que actúan en la porción entre la grieta y el apoyo más cercano a una viga así reforzada. Cada estribo que atraviesa la grieta ejerce una fuerza  $A_v f_v$  en la porción dada de la viga donde  $A_v$  es el área de la sección transversal del estribo.

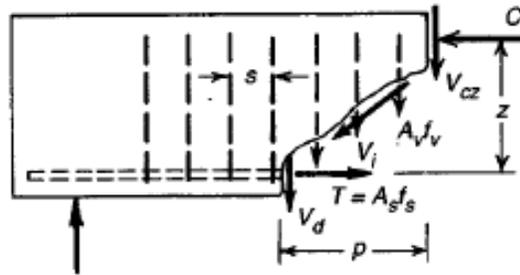


Figura 11. Fuerzas en una grieta diagonal de una viga con estribos verticales. Fuente: Nilson (2001).

El equilibrio en la dirección vertical sería

$$V_{ext} = V_{cz} + V_d + V_{iy} + V_s \quad (2.30)$$

Donde  $V_s = nA_v f_v$  es la fuerza vertical en los estribos, con  $n$  igual al número de ramas que atraviesan la grieta,  $s$  es el espaciamiento entre estribos y  $p$  la proyección horizontal de la grieta. Aunque se puede calcular el cortante total tomado por los estribos en la fluencia, las magnitudes individuales de los otros tres componentes no se conocen, estudios experimentales sugieren que la suma de estos tres componentes es equivalente al cortante de agrietamiento  $V_{cr}$ . Que usualmente se hace referencia a  $V_{cr}$  como la contribución del concreto  $V_c$ .

Una cantidad de estribos  $n$  espaciados a una distancia  $s$  entre sí, depende de la longitud  $p$  la cual es la proyección horizontal de la grieta diagonal. Esta longitud se supone igual a la altura efectiva de la viga; entonces  $n = d/s$  que implica una grieta con una inclinación un poco menor a  $45^\circ$ . Por consiguiente la ecuación para la resistencia a cortante última nominal es

$$V_n = V_c + \frac{A_v f_y d}{s} \quad (2.31)$$

### 2.2.5 Análisis dinámico tridimensional

Para el análisis de la edificación a realizar se realizó un previo modelado de la estructura mediante un software de cálculo estructural y luego se aplicará un análisis dinámico en tres dimensiones tal como lo explican Bazán y Meli (2010):

El análisis de una estructura ante excitación sísmica debe tener en cuenta todos los grados de libertad necesarios para representar completamente los posibles modos de deformación y las fuerzas de inercia significativas que puedan generarse en tres dimensiones. Bajo la hipótesis de comportamiento elástico, existe una variedad de programas basados en el método del elemento finito, que facilitan el análisis dinámico de modelos tridimensionales con cualquier distribución de masas y rigideces.

(...). En el diseño de edificios, así como se hace en el análisis estático, se emplea también el análisis dinámico tridimensional la hipótesis de que los pisos son diafragmas rígidos. De esta manera el problema global se reduce a uno de tres grados de libertad dinámicos por nivel: dos desplazamientos laterales y un giro alrededor de un eje vertical. (p. 127)

### 2.2.5.1 Ecuaciones de equilibrio dinámico

Para una mejor comprensión de la matriz de masas que utilizará el software de cálculo estructural para resolver el equilibrio dinámico en el modelo de la estructura, se cita a Bazán y Meli (2010) los cuales establecen lo siguiente:

El equilibrio dinámico de un sistema tridimensional considera las fuerzas de inercia, que para la masa  $i$ -ésima continúan siendo de la forma  $m_i(\ddot{u}_i + \ddot{s})$ , las fuerzas en los elementos elásticos, que son el producto de la matriz de rigidez lateral por los desplazamientos laterales (incluyendo los giros) y las fuerzas de amortiguamiento viscoso que se pueden expresar como el producto de una matriz de amortiguamientos por las velocidades. En las fuerzas de inercia necesitamos incluir los productos de los momentos de inercia de las masas con respecto a un eje vertical por las correspondientes aceleraciones rotacionales. Para cada masa o momento de inercia, la suma de todas las fuerzas o momentos debe ser cero, Así llegamos a las ecuaciones de equilibrio dinámico siguientes:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -M R \ddot{s}(t) \quad (2.32)$$

La matriz de masas adopta ahora la forma:

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_1 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & m_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_n \end{bmatrix}$$

En la matriz **M**, a los desplazamientos laterales les corresponde la masa traslacional del nivel en cuestión y al giro alrededor del eje vertical le corresponde la inercia traslacional del nivel en cuestión y al giro alrededor del eje vertical le corresponde la inercia rotacional de la masa con respecto a dicho eje. Tratándose de fuerzas sísmicas que obran en los centros de masas de los niveles, es conveniente que los ejes verticales pasen por tales centros. (p. 127)

### 2.2.5.2 Análisis modal

El concepto fundamental es que en un instante dado, los desplazamientos de las masas de un sistema de varios grados de libertad pueden expresarse como la suma de los desplazamientos debidos a la participación de cada uno de los modos naturales, puesto que los mismos contribuyen a un conjunto completo; (Bazán y Meli, 2010, p.121)

Esto es:

$$\mathbf{u}(t) = \sum Y_j(t) \mathbf{Z}_j \quad (2.33)$$

o en términos completamente matriciales:

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{Z} \mathbf{Y}(t) \quad (2.34)$$

En las expresiones anteriores:

$\mathbf{u}(t)$ : vector de desplazamientos relativos a la base de las masas en el instante  $t$ .

$Y_j(t)$ : función escalar que expresa la variación con respecto al tiempo de la participación del modo  $j$ .

$\mathbf{Y}(t)$ : vector columna cuyos elementos son las  $Y_j(t)$ .

$\mathbf{Z}_j$ :  $j$ -ésimo vector modal en el que el término  $z_{ij}$  es amplitud del desplazamiento de la masa  $m_i$ .

$\mathbf{Z}$ : matriz modal cuya  $j$ -ésima columna es el modo  $\mathbf{Z}_j$ .

$\sum$  expresa suma sobre todos los modos de vibrar.

Sustituyendo  $\mathbf{u}(t)$  en la ecuación obtenemos:

$$\mathbf{M} \mathbf{Z} \ddot{\mathbf{Y}}(t) + \mathbf{C} \mathbf{Z} \dot{\mathbf{Y}}(t) + \mathbf{K} \mathbf{Z} \mathbf{Y}(t) = -\mathbf{M} \mathbf{1} \ddot{s}(t) \quad (2.35)$$

Recordemos que gracias a las propiedades de ortogonalidad de los modos se tiene:

$$\mathbf{Z}^T \mathbf{M} \mathbf{Z} = \mathbf{M}^*$$

$$\mathbf{Z}^T \mathbf{K} \mathbf{Z} = \mathbf{K}^*$$

Donde las matrices transformadas  $\mathbf{M}^*$  y  $\mathbf{K}^*$  son diagonales. Consideramos además que la matriz de amortiguamientos  $\mathbf{C}$ , se diagonaliza bajo la misma transformación modal, o sea que  $\mathbf{Z}^T \mathbf{C} \mathbf{Z} = \mathbf{C}^*$  también diagonal. Premultiplicando ambos miembros por  $\mathbf{Z}^T$  nos queda:

$$\mathbf{M}^* \ddot{\mathbf{Y}}(t) + \mathbf{C}^* \dot{\mathbf{Y}}(t) + \mathbf{K}^* \mathbf{Y}(t) = -\mathbf{Z}^T \mathbf{M} \mathbf{1} \ddot{s}(t) \quad (2.36)$$

Como los términos fuera de la diagonal de las matrices transformadas son nulos, la fila  $j$  del sistema de ecuaciones diferenciales(2.36) resulta:

$$m_j^* \ddot{Y}_j(t) + c_j^* \dot{Y}_j(t) + k_j^* Y_j(t) = -\mathbf{Z}_j^T \mathbf{M} \mathbf{1} \ddot{s}(t) \quad (2.37)$$

$m_j^*, c_j^*, k_j^*$  se llaman *masa, amortiguamiento y rigidez generalizados* en el modo  $j$ , y están dadas por:

$$\begin{aligned} m_j^* &= \mathbf{Z}_j^T \mathbf{M} \mathbf{Z}_j \\ c_j^* &= \mathbf{Z}_j^T \mathbf{C} \mathbf{Z}_j \\ k_j^* &= \mathbf{Z}_j^T \mathbf{K} \mathbf{Z}_j \end{aligned} \quad (2.38)$$

Dividiendo (2.37) entre  $m_j^*$  y definiendo  $\omega_j^* = \sqrt{k_j^* / m_j^*}$ ,  $c_{crj} = \sqrt{k_j^* / m_j^*}$  y  $\xi_j = c_j^* / c_{crj}$  obtenemos:

$$\ddot{Y}_j(t) + 2\omega_j \xi_j \dot{Y}_j(t) + \omega_j^2 Y_j(t) = [\mathbf{Z}_j^T \mathbf{M} \mathbf{1} / m_j^*] \ddot{s}(t) \quad (2.39)$$

### ***Coficiente de participación del modo***

Bazán y Meli (2010) indican que en términos de cantidades escalares  $p_j$  se expresa:

$$p_j = \frac{\sum_i m_i z_{ij}}{\sum_i m_i z_{ij}^2} \quad (2.40)$$

$p_j$  se denomina coeficiente de participación del modo  $j$  y define la escala a la que intervienen este modo en el movimiento.

### **2.2.6 Ingeniería de Software**

“La Ingeniería de Software en la rama de la ingeniería que aplica los principios de la ciencia de la computación y las matemáticas para lograr soluciones costo-efectivas a los problemas de desarrollo de software” (Cota, 1994, p. 5).

En su tesis Zavala (2000) explicó que:

El proceso de ingeniería de software se define como “un conjunto de etapas parcialmente ordenadas con la intención de lograr un objetivo, en este caso, la obtención de un producto de software de calidad” (Jacobson, 1998). El proceso de desarrollo de software “es aquel en que las necesidades del usuario son traducidos en requerimiento de software, estos requerimientos transformados en diseño y el diseño implementado en código, el código es probado, documentado y certificado para su uso operativo”. Concretamente “define quién está haciendo qué, cuándo hacerlo y cómo alcanzar un cierto objetivo” (Jacobson, 1998).

#### **2.2.6.1 Conceptos básicos**

Para crear un programa de cualquier tipo es necesario tener un conocimiento básico previo. A continuación se presenta un esquema para introducir al lector al amplio mundo de la informática.

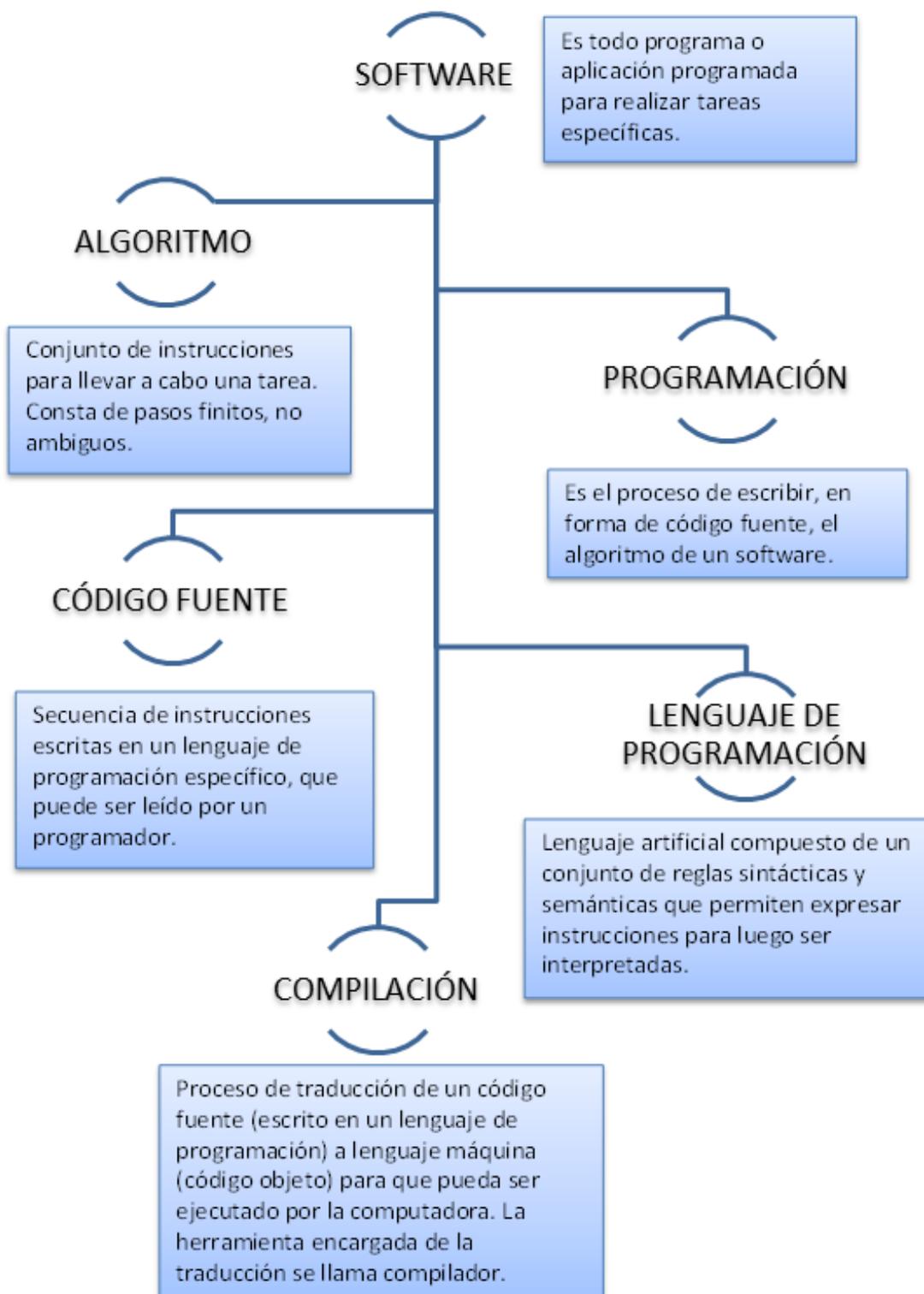


Figura 12. Conceptos esenciales para crear un programa

2.2.6.2 Metodología establecida para elaborar un programa

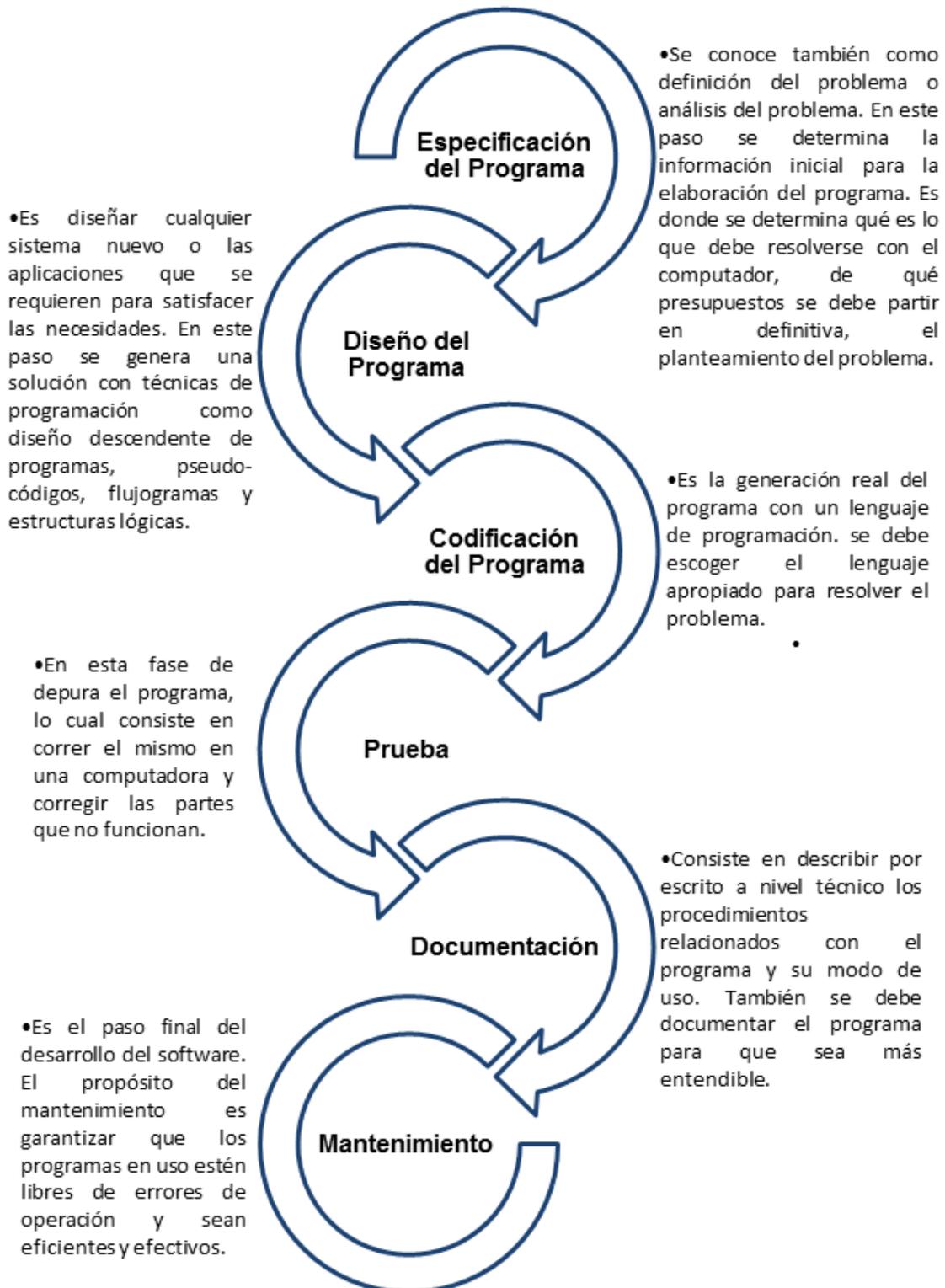


Figura 13. Pasos para la creación y desarrollo de un software.

### 2.2.7 Programación orientada a objetos

El software que se va a realizar utilizará la programación orientada a objetos (P.O.O.) como tipo de programación, por lo que es conveniente detallar sus características. Según Cesar Frick (2008):

La P.O.O. (también conocida como O.O.P., por sus siglas en inglés) es lo que se conoce como un paradigma o modelo de programación. Esto significa que no es un lenguaje específico, o una tecnología, sino una forma de programar, una manera de plantearse la programación. No es la única (o necesariamente mejor o peor que otras), pero se ha constituido en una de las formas de programar más populares e incluso muchos de los lenguajes que usamos hoy día lo soportan o están diseñados bajo ese modelo.

Lo que caracteriza a la P.O.O. es que intenta llevar al mundo del código lo mismo que encontramos en El Mundo Real. Cuando miramos a nuestro alrededor ¿qué vemos? pues, cosas, objetos, pero podemos reconocer estos objetos porque cada objeto pertenece a una clase, eso nos permite distinguir, por ejemplo, un perro de un auto (porque son de clases diferentes) y también un TV de otro (porque, aunque sean iguales, cada uno es un objeto distinto). Éste es el modelo que la P.O.O. intenta seguir para estructurar un sistema.

### 2.2.8 Lenguaje C++

El lenguaje que se utilizará para crear el código correspondiente al algoritmo será C++, por lo que es necesario conocer sus reglas para utilizarlas correctamente en la descripción de variables del algoritmo.

El lenguaje de programación C++ consiste de un vocabulario de comandos que los humanos pueden entender y que pueden ser convertidos en lenguaje máquina fácilmente y una estructura de lenguaje (o gramática) que permite a los humanos

combinar estos comandos en un programa que realiza una tarea. El vocabulario es conocido como la semántica, mientras que la gramática es la sintaxis (An introduction to C++).

El Manual Básico de Programación en C++ explica que C++ es una mejoría sobre muchas características del lenguaje C, y proporciona capacidades de P.O.O. que promete mucho para incrementar la productividad, calidad y reutilización del software.

En C, la unidad de programación es la función, con lo cual se trata de una programación orientada a la acción. En C++ la unidad de programación es la clase, a partir de la cual, los objetos son producidos. Se trata de una programación orientada al objeto.

Las bibliotecas estándar de C++ proporcionan un conjunto extenso de capacidades de entrada/salida. C++ usa entradas/salidas de tipo seguro; no podrán introducirse datos equivocados dentro del sistema. Se pueden especificar entradas/salidas de tipos definidos por usuario. Este tipo de estado común facilita el desarrollo de software en general y de la reutilización de software en particular.

#### 2.2.8.1 **Variable**

El Diccionario de Informática define su concepto:

En programación, una variable es un espacio de memoria reservado para almacenar un valor que corresponde a un tipo de dato soportado por el lenguaje de programación. Una variable es representada y usada a través de una etiqueta (un nombre) que le asigna un programador o que ya viene predefinida.

Juan Soulié (2008).

Cada variable necesita un identificador que la distingue de las demás. El nombre de las variables puede ser cualquiera, siempre y cuando califique como un identificador válido. En C++, así como en otros lenguajes, un identificador válido es una secuencia de una o más letras, dígitos o guión bajo (\_). Ni los espacios, signos de puntuación o símbolos pueden ser parte de un identificador. Adicionalmente, los identificadores de variables siempre deben comenzar con una letra. También pueden comenzar con un guión bajo (\_), pero en algunos casos estos son reservados para claves específicas del compilador. En ningún caso puede empezar con un dígito. Otra regla para tener en consideración cuando se crean identificadores propios es que no pueden ser iguales a ninguna clave del lenguaje C++ ni a las especificaciones del compilador, las cuales son palabras reservadas (...). El lenguaje C++ es sensible a mayúsculas y minúsculas. Esto significa que un identificador escrito en letras mayúsculas no es equivalente a otro con el mismo nombre pero escrito en letras minúsculas. Cuando se programa, las variables se guardan en la memoria de la computadora, pero la misma tiene que saber que tipo de variable se desea guardar, ya que no va a ocupar la misma cantidad de memoria guardar un simple número que guardar una simple letra o un número grande, y no van a ser interpretados de la misma forma. La memoria en una computadora está organizada en bytes. Un byte es la mínima cantidad de memoria que se puede manejar en C++. Un byte puede guardar una cantidad de datos relativamente pequeña: un carácter individual o un entero pequeño. Adicionalmente, la computadora puede manipular tipos de datos más complejos que vienen de agrupar varios bytes, tal como números largos o números no enteros. (p. 12).

### 2.2.9 Qt

Para el desarrollo y compilación del programa se utilizará Qt Project, software libre desarrollado por Digia, Nokia y otros.

Qt es un marco de desarrollo completo con herramientas diseñadas para coordinar la creación de aplicaciones e interfaces de usuario para el escritorio y

plataformas móviles. Con el mismo, se puede re usar un código eficientemente para enfocarse en multi plataformas con un código base. La biblioteca de clases del sistema modular C++ y herramientas de desarrollo permite fácilmente a los desarrolladores crear aplicaciones para una plataforma y fácilmente construir y correr para desplegarse en otra plataforma. (Fuente: <http://qt.digia.com/product/>)

Qt Creator es una aplicación escrita en Qt. “Es un nuevo entorno de desarrollo integrado (IDE) multiplataforma. Incluye un editor de código C++ avanzado, herramientas de gestión de proyectos, sistema de ayuda integrado, herramientas de gestión de código y navegación, etc.” (<http://qt.digia.com/product/>).

#### **2.2.10 OpenGL**

OpenGL es un estándar sobre gráficos por computadora y es el que utiliza el Programa de Armado de Vigas para realizar la representación del armado. Es uno de los estándares más conocidos y utilizados en el mundo y sirve para escribir aplicaciones que produzcan gráficos en 2D y 3D. Contiene más de 250 funciones diferentes que permiten escenas tridimensionales complejas a partir de geométricas simples, tales como puntos, líneas y triángulos.

#### **2.2.11 ETABS®**

Hernández, Eliud (2010) comenta que ETABS® es un programa de análisis y diseño de sistemas de Edificaciones que desde hace mas de 30 años ha estado en

continuo desarrollo. Sus siglas en inglés representan Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems (Análisis Tridimensional Extendido de Edificaciones). ETABS® versión 9 posee una poderosa e intuitiva interfaz gráfica con procedimientos de modelaje, análisis y diseño sin igual, todos integrados usando una base de datos común. Aunque fácil y sencillo para estructuras simples, ETABS® también puede manejar los más grandes y complejos modelos de edificios, incluyendo un amplio rango de comportamientos no lineales, haciéndolo la herramienta predilecta para ingenieros estructurales en la industria de la construcción.

### 2.3 Marco Normativo Legal

Comisión de Normas para Estructuras de Edificaciones del Ministerio del Desarrollo Urbano. (1988). *Norma Venezolana 2002-88, CRITERIOS Y ACCIONES MÍNIMAS PARA EL PROYECTO DE EDIFICACIONES*. Caracas.

#### ARTÍCULO 4.3 PESOS DE LOS MATERIALES Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

En las tablas 4.1, 4.2 y 4.3 se dan los valores más probables de los pesos de los materiales de construcción, materiales almacenables y elementos constructivos.

**TABLA 4.1 PESOS UNITARIOS PROBABLES DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

5. CONCRETOS	kg/m <sup>3</sup>
Concreto armado de agregados ordinarios.....	2500

Comité Técnico de Normalización CT3 Obras Civiles. (2006). *Norma Venezolana 1753:2006, PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL*. Caracas.

**ARTÍCULO 2.2:**  $\rho$ = Cuantía del acero de refuerzo longitudinal a tracción de un miembro sometido a flexión:

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

**ARTÍCULO 9.3:**

TABLA 9-3 COMBINACIONES DE SOLICITACIONES PARA EL ESTADO LÍMITE DE AGOTAMIENTO RESISTENTE

U = 1.4 (CP + CF)	(9-1)
U = 1.2 (CP +CF + CT) + 1.6 (CV + CE) + 0.5 CVt	(9-2)
U = 1.2 CP + 1.6 CVt + ( $\gamma$ CV ó 0.8 W)	(9-3)
U = 1.2 CP 1.6 W + $\gamma$ CV + 0.5 CVt	(9-4)
U = 1.2 CP + $\gamma$ CV S	(9-5)
U = 0.9 CP 1.6 W	(9-6)
U = 0.9 CP S	(9-7)
U = 0.9 CP 1.6 CE	(9-8)

El factor de combinación de solicitaciones debidas a las acciones variables en las combinaciones (9-3) a (9-5) será 1,00, excepto en pisos y terrazas de edificaciones destinadas a vivienda en que se tomará como 0,50.

**ARTÍCULO 10.2 – SECCIÓN 10.2.3:** El diagrama tensión-deformación del concreto puede suponerse como rectangular, trapezoidal, parabólico o de otra forma, siempre y cuando se obtenga una resistencia acorde con los resultados de ensayos representativos.

La distribución rectangular equivalente de tensiones en el concreto, presupone una tensión en el concreto igual a  $0,85 f'_c$ , uniformemente distribuida sobre una zona comprimida, limitada por los bordes de la sección y una recta paralela al eje neutro, ubicada a una distancia  $a = \beta_1 c$  de la fibra que tenga la máxima deformación en compresión. El factor  $\beta_1$  se tomará según la Tabla 10.2.3, y la distancia  $c$  de la fibra con la máxima deformación en compresión hasta el eje neutro debe medirse en una dirección perpendicular a este eje.

En el cálculo de la capacidad resistente de las secciones no se tomará en cuenta la resistencia a tracción del concreto.

TABLA 10.2.3 VALORES DEL FACTOR  $\beta_1$

$f'_c$	$\beta_1$
$\leq 280 \text{ kgf/cm}^2$	0,85
$> 280 \text{ kgf/cm}^2$	$1,05 - f'_c / 1400 \geq 0,65$

**ARTÍCULO 11.2:** El diseño de los miembros solicitados por fuerza cortante debe satisfacer la condición:

$$V_n \geq V_u \quad (11-1)$$

donde  $V_u$  es la fuerza cortante mayorada en la sección considerada y  $V_n$  es la resistencia teórica al corte calculada según la siguiente ecuación:

$$V_n = V_c + V_s \quad (11-2)$$

La resistencia teórica al corte  $V_n$ , considerará el efecto de cualquier abertura existente en los miembros.

**ARTÍCULO 12.2 – SECCIÓN 12.2.1:** La longitud de transferencia de la tensión de diseño,  $L_d$ , en términos del diámetro de la barra con resaltes o del alambre con resaltes de las mallas electrosoldadas solicitadas a tracción, se calculará con la ecuación general (12-1) o mediante las ecuaciones particulares de la Tabla 12.2.1a; en cualquier caso  $L_d \geq 30 \text{ cm}$ . Los factores de las ecuaciones (12-1), (12-3) y (12-4) se suministran en la Tabla 12.2.1b.

La longitud de transferencia  $L_d$ , para las barras con resaltes así como para los alambres con resaltes de las mallas electrosoldadas será:

$$L_d = \left( \frac{0,283 \times f_y}{\sqrt{f'_c}} \right) \times \left[ \frac{\alpha \times \beta \times \gamma \times \lambda}{\frac{c_d + K_{tr}}{d_b}} \right] \times d_b \quad (12-1)$$

con las siguientes limitaciones:

$$\alpha \beta < 1,7 \quad \frac{c_d + K_{tr}}{d_b} \leq 2,5$$

El índice del acero de refuerzo transversal  $K_{tr}$ , se calculará con la ecuación (12-2), pero de manera simplificada se permitirá usar el valor de  $K_{tr} = 0$ , aun cuando esté presente el acero de refuerzo transversal.

$$K_{tr} = \frac{0,01A_{tr}f_{yt}}{sn} \quad (12-2)$$

En las ecuaciones (12-1) y (12-2):

**A<sub>tr</sub>** = Área total del acero de refuerzo transversal contenido en una sección de concreto que está dentro de la separación **s** y que atraviesa el plano potencial de falla del acero de transferencia, en cm<sup>2</sup>.

**cd** = El menor valor entre el recubrimiento y la separación del acero de refuerzo; véase la Tabla 12.2.1b

**n** = Número de barras o alambres que transfieren sus tensiones.

**α, β, λ, γ** = Factores de modificación de la longitud de transferencia, dados en la Tabla 12.2.1.b.

**ARTÍCULO 12.3 – SUBSECCIÓN 12.3.1.1:** La longitud mínima de empalme por solape en tracción será conforme a los requisitos de empalmes **Clases A o B**, definidos en la Tabla 12.3.1.

Empalme **Clase A**,  $1,0 L_d > 30 \text{ cm}$ .

Empalme **Clase B**,  $1,3 L_d > 30 \text{ cm}$ .

**L<sub>d</sub>** es la longitud de transferencia a tracción requerida para desarrollar la resistencia cedente especificada **f<sub>y</sub>**, según el Artículo 12.2 y sin aplicar el factor de modificación por exceso de acero, como se especifica en la Tabla 12.2.1b.

La longitud de empalme por solape de barras y alambres con resaltes de las mallas electrosoldadas solicitado por tracción, se hará de acuerdo con la Tabla 12.3.1.

TABLA 12.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS EMPALMES POR SOLAPE EN BARRAS Y ALAMBRES CON RESALTES SOLICITADOS A TRACCIÓN

Empalme Clase A	Empalme Clase B
En la ubicación del solape	
<b>A<sub>s</sub></b> colocado $\geq 2 A_s$ requerido <b>A<sub>s</sub></b> empalmado $\leq 50 \%$	Todas las demás condiciones

**ARTÍCULO 12.4 – SUBSECCIÓN 12.4.1.1:** La longitud de anclaje mediante gancho estándar **L<sub>dh</sub>** para barras con resaltes en tracción, se calculará con la ecuación (12-8), usando los factores de modificación aplicables. En todo caso **λ<sub>dh</sub> L<sub>dh</sub>** no será menor que **8db** ni 15 cm. El gancho estándar se define y especifica en la Sección 7.2.2.

$$Ldh \geq \frac{d_b \times f_y}{17,2 \times \sqrt{f'_c}} \quad (12-8)$$

El factor  $\beta$  se especifica en la Sección 12.2.1, excepto que se usará  $\beta=1,2$  para las barras con recubrimientos epóxicos. El factor de modificación  $\lambda dh$ , se especifica en la Tabla 12.4.

**ARTÍCULO 18.2 – SECCIÓN 18.2.3:** Los empalmes, sean por solape, por soldadura o mediante conexiones mecánicas, cumplirán con el Artículo 12.3. Adicionalmente, los empalmes cumplirán con las siguientes restricciones:

a. No se permiten empalmes por solapes:

1. Dentro de los nodos.
2. En una distancia igual a  $L_{cf}$ , según las ecuaciones de la Tabla 18.3.4.
3. En ninguna otra zona donde el análisis estructural indique que debido a las posibles incursiones de la estructura en el dominio no elástico de la respuesta, el acero de refuerzo por flexión alcance su tensión cedente.

b. En toda la longitud de solape se colocará acero de refuerzo transversal formado por estribos cerrados, que cumplan con los requisitos del acápite b de la Sección 7.2.2, siendo la separación no mayor que  $d/4$  ó 10 cm.

c. En las columnas, solo se permite solapar dentro del tercio central de la altura libre del miembro. Estos empalmes se diseñarán como empalmes por tracción y deberán quedar confinados por ligaduras cerradas separadas a una distancia no mayor que  $d/4$  ó 10 cm. En caso de utilizarse zunchos, el paso del zuncho no será mayor de 7,5 cm.

**ARTÍCULO 18.3 – SECCIÓN 18.3.3:** En cualquier sección de un miembro flexionado, el área el acero de refuerzo mínimo en los lechos superior e inferior, se calculará con una de las siguientes ecuaciones:

$$A_{s_{min}} = \frac{0,79\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \text{ para } f'_c \geq 315 \text{ kgf/cm}^2 \quad (10-1a)$$

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{f_y} b_w d \text{ para } f'_c < 315 \text{ kgf/cm}^2 \quad (10-1b)$$

y la cuantía máxima  $\rho_{m\acute{a}x}$  no debe exceder de 0.025.

En cada sección del miembro habrá por lo menos una barra continua no menor de No. 4 en cada esquina.

El detallado del acero de refuerzo longitudinal debe cumplir con las siguientes disposiciones:

- a. En las caras de los apoyos, el acero de refuerzo del lecho inferior de la viga debe ser tal que la capacidad para resistir momentos positivos sea por lo menos la mitad de la capacidad para resistir momentos negativos.
- b. En cualquier sección a lo largo del miembro la capacidad resistente tanto de momentos positivos como de momentos negativos, será por lo menos igual a la cuarta parte de la mayor capacidad resistente de la sección en la cara de los apoyos.
- c. La disposición de las barras longitudinales del miembro cumplirá con los requisitos de empalme y anclaje de la Sección 18.2.3 y el Artículo 12.4, respectivamente.

**ARTÍCULO 18.3 – SECCIÓN 18.3.4:** El acero de refuerzo transversal en forma de estribos cerrados, tal como se definen en la Sección 7.2.2, debe confinar las siguientes zonas:

- a. La porción comprendida entre la cara del apoyo y una distancia igual a **Lcf**, en ambos extremos del vano.
- b. Una distancia igual a **Lcf**, a cada lado de la sección en donde se considere probable que ocurra la cedencia por flexión, a consecuencia de los desplazamientos laterales inelásticos en la estructura.

Siendo

**Lcf** = Longitud de confinamiento calculada según las ecuaciones de la Tabla 18.3.4

TABLA 18.3.4 LONGITUD DE CONFINAMIENTO, Lcf

<b>Ln/h</b>	<b>Lcf</b>
$\leq 4$	<b>h</b>
$4 < \text{Ln/h} < 10$	$\frac{h}{6} \left( \frac{\text{Ln}}{h} + 2 \right)$
$> 10$	<b>2h</b>

En las zonas confinadas, los estribos deben ser cerrados y su separación **s**, no debe exceder el menor de los valores siguientes:

1.  $d/4$ .
2. 8 veces el diámetro de la barra longitudinal de menor diámetro.
3. 24 veces el diámetro del estribo.
4. 30 cm.

En las zonas no confinadas, y a menos que el diseño por corte resulte más exigente, se colocará acero de refuerzo transversal mínimo con una separación no mayor que  $0,5d$ .

**ARTÍCULO 18.3 – SECCIÓN 18.3.5:** La fuerza de corte para el diseño o demanda de cortante  $V_e$ , se determinará del diagrama de cuerpo libre considerando que en la parte del miembro comprendido entre las caras internas de los nodos, o donde puedan ocurrir las rótulas plásticas, actúan momentos de signos opuestos, en sentido horario y antihorario, correspondientes al momento resistente máximo probable  $M_{pr}$  en las caras internas de los nodos, o donde puedan ocurrir las rótulas plásticas, y que el miembro en el tramo analizado está cargado por las combinaciones (9-5) y (9-7) del Artículo 9.3. El corte se calculará con la ecuación (18-1).

$$V_e = V_h + V_o = \frac{(M_{pr \pm})_i + (M_{pr \mp})_j}{L_n} + V_o \quad (18-1)$$

$M_{pr}$  = Momento resistente máximo probable.

$L_n$  = Luz libre del vano. Véase el Artículo H-18.3.5.

$V_o$  = Fuerza de corte proveniente de las cargas verticales, debidamente mayoradas, determinada en la hipótesis de que la pieza estuviese simplemente apoyada, kgf.

La resistencia teórica al corte del concreto  $V_c$ , se calculará de acuerdo con el Artículo 11.3. Cuando la fuerza axial mayorada en el vano, incluyendo el efecto de sismo, es menor que  $0,05 A_f'c$ , se supondrá nula la resistencia al corte del concreto.

**ARTÍCULO 18.5 – SECCIÓN 18.5.2:** Para concretos con agregado normal la resistencia teórica al corte del nodo, no excederá los siguientes valores:

Para nodos confinados,  $V_c = 5,3 f'c A_j$ .

Para nodos conectados por dos o tres miembros confinantes,  $V_c = 4,0 f'c A_j$ .

Para otros casos,  $V_c = 3,2 f'c A_j$ .

**CAPÍTULO H-12 – SECCIÓN H-12.2.3:** Los diagramas de momentos usados en el diseño son aproximados porque pueden ocurrir desplazamientos en la ubicación de los momentos máximos debido a variaciones en las cargas, asentamientos de apoyos, cargas laterales u otras causas. Una fisura de tracción diagonal en un miembro sin estribos solicitados a flexión, puede desplazar la ubicación de la tensión de tracción calculada aproximadamente a una distancia igual a la altura útil,  $d$ , hacia el punto de momento cero.

Este efecto es de menor importancia cuando hay estribos, pero sigue existiendo. Para considerar los desplazamientos de las secciones de momento máximo, esta Norma requiere la prolongación del acero de refuerzo a una distancia  $d$  o  $12db$ , más allá de la sección en la cual éstas son teóricamente innecesarias para resistir flexión, excepto en los casos indicados. En la Figura H-12.2.3.a se ilustra la posición de los puntos de interrupción del acero de refuerzo que satisfacen este requisito. Cuando se usan barras de diferentes diámetros, la prolongación depende del diámetro de la barra que se interrumpe.

**CAPÍTULO H-18 – SUBSECCIÓN H-18.4.6.1:** Por encima del nivel de planta baja, el momento en un nodo puede ser limitado por la resistencia a flexión de las vigas que concurren al nodo. Cuando las vigas concurren en lados opuestos del nodo, la resistencia combinada puede ser la suma de la resistencia a flexión negativa en un lado del nodo y la resistencia a flexión positiva en el opuesto. Las resistencias a la flexión deberán determinarse empleando un factor de reducción de resistencias igual a 1,0 y una tensión en el acero de refuerzo igual a  $1,25 f_y$ .

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS. (2001). *Norma Venezolana COVENIN 1756:2001, Partes 1 y 2, titulada EDIFICACIONES SIMOSRRRESISTENTES, REQUISITOS Y COMENTARIOS*. Caracas.

## 7.2 ESPECTROS DE DISEÑO

Las ordenadas  $A_d$  de los espectros de diseño, quedan definidas en función de su período  $T$  tal como se indica en la figura 7.1, en la forma siguiente:

$$T < T^+ \quad A_d = \frac{\alpha \varphi A_0 \left[ 1 + \frac{T}{T^+} (\beta - 1) \right]}{1 + \left( \frac{T}{T^+} \right)^c (R - 1)} \quad (7.1)$$

$$T^+ \leq T < T^* \quad A_d = \frac{\alpha \varphi \beta A_0}{R} \quad (7.2)$$

$$T > T^* \quad A_d = \frac{\alpha \varphi \beta A_0}{R} \left( \frac{T^*}{T} \right)^p \quad (7.3)$$

donde:

$A_d$  = Ordenada del espectro de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de gravedad.

$\alpha$  = Factor de importancia (Tabla 6.1).

$A_0$  = Coeficiente de aceleración horizontal (Tabla 4.1).

$\varphi$  = Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal (Tabla 5.1).

$\beta$  = Factor de magnificación promedio (Tabla 7.1).

$T_0 = 0.25T^*$  Período a partir del cual los espectros normalizados tienen un valor constante (seg).

$T^*$  = Máximo período en el intervalo donde los espectros normalizados tienen un valor constante (Tabla 7.1).

$T^+ \geq T_0$  Período característico de variación de respuesta dúctil (seg) (Tabla 7.2).

$$C = \sqrt[4]{R/\beta}$$

$R$  = Factor de reducción de respuesta (Artículo 6.4).

$p$  = Exponente que define la rama descendente del espectro.

**TABLA 7.1**  
**VALORES DE  $T^*$ ,  $\beta$  y  $p$**

FORMA ESPECTRAL	$T^*$ (seg)	$\beta$	$p$
S1	0.4	2.4	1.0
S2	0.7	2.6	1.0
S3	1.0	2.8	1.0
S4	1.3	3.0	0.8

**TABLA 7.2**  
**VALORES DE  $T^+$**

CASO	$T^+$ (seg)
$R < 5$	0.1 (R-1)
$R \geq 5$	0.4

## **CAPÍTULO III**

### **3 MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

Este Trabajo Especial de Grado constituye un Proyecto Especial, debido a que el programa diseñado es una creación tangible, susceptible de ser utilizado como solución o alternativa a la problemática planteada y responde a necesidades e intereses en el campo de la Ingeniería Estructural. La creación del programa de armado de vigas de concreto reforzado soluciona las dificultades que se presentan en este proceso, además de mejorar la eficiencia del ingeniero proyectista.

#### **3.2 Diseño de la investigación**

El desarrollo del presente trabajo, de tipo Proyecto Especial, demandó inicialmente una fase de investigación documental sobre:

- Las teorías de cálculo referentes al armado de vigas de concreto reforzado.
- Las especificaciones establecidas para el armado de vigas de concreto reforzado en la Normativa Venezolana.

- La elaboración de algoritmos.
- El diseño de software.

En base a la información documental obtenida y a la consulta con expertos (Ingenieros Proyectistas), se inició la fase de investigación no experimental para desarrollar el programa y adaptarlo a las necesidades del usuario al que va dirigido. Posteriormente, se realizó una investigación de campo en la que se evaluó la eficiencia del software desarrollado, respecto a la metodología tradicional de cálculo empleada por los ingenieros civiles, y la variabilidad en los cálculos manuales en comparación a la exactitud del programa

### **3.3 Descripción de la Metodología**

#### **3.3.1 Establecimiento de los pasos a seguir para el armado de una viga de concreto reforzado según la normativa venezolana vigente**

Para establecer una metodología de cálculo se examinó con detenimiento la norma venezolana actual y se investigó en distintos libros de diseño de elementos de concreto armado, para así escoger el mejor procedimiento que cumpla todos los parámetros encontrados en los mismos. Además se tomó en cuenta la opinión de ingenieros calculistas experimentados, ya que su criterio aporta un elemento importante que garantiza el éxito del diseño resultante deseado.

A continuación se presenta el procedimiento desarrollado, el cual se utilizó como base para la creación del algoritmo que contiene el software:

- 1) Se obtienen los resultados del software ETABS®, los cuales muestran las áreas de acero necesarias a lo largo de toda la viga, tanto superior como inferior.

- 2) Una vez obtenidas las áreas de acero, se selecciona una cantidad que proporcione un área de acero principal o corrido que cumpla con las condiciones y especificaciones establecidas en la norma. Primero se calcula el acero mínimo (Sec. 18.3.3, p. 118):

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{f_y} b d \quad (3.1)$$

- 3) Para el acero corrido superior se presentan dos condiciones, de las cuales se escoge la mayor (p. 119):

$$A_s^- \geq A_{s_{min}} \quad (3.2)$$

$$A_s^- \geq A_s^- \text{ cara} / 4 \quad (3.3)$$

Para el acero corrido inferior se presentan tres condiciones, de las cuales se escoge la mayor:

$$A_s^+ \geq A_{s_{min}} \quad (3.4)$$

$$A_s^+ \geq A_s^- \text{ cara} / 2 \quad (3.5)$$

$$A_s^+ \geq A_s^+ \text{ cara} / 4 \quad (3.6)$$

Aunque la norma establece estas disposiciones en función de momentos resistentes, en el APÉNDICE C se demostró que se puede trabajar con la condición de área de acero, resultando ésta más desfavorable que la anterior y mucho más sencilla de utilizar para los ingenieros calculistas.

- 4) Para cada acero corrido se elige una combinación de cabillas que su área resulte igual o mayor a la antes calculada. Este proceso se realiza con la ayuda de una

tabla que contiene todos los tipos de cabillas y su sección útil de acero según el número de cabillas a utilizar.

- 5) Se verifica si la combinación de cabillas escogida es adecuada para el tamaño de la sección de la viga en cuestión, tomando en cuenta el recubrimiento y el espacio normativo entre cabillas. Si la combinación elegida cumple, se continúa con el paso siguiente. Si no cumple, se selecciona una combinación de cabillas que también abarque el acero requerido y se verifica de nuevo. Esta verificación se realiza de la siguiente manera:

$$b > (2 \times r) + (d_b \times n) + (2,5 \times (n - 1)) \quad (3.7)$$

En donde:

$b$ : base o ancho de la viga.

$r$ : recubrimiento, el cual normalmente tiene un valor de 5 cm.

$d_b$ : diámetro de la barra o cabilla.

$n$ : número de cabillas.

- 6) Se calcula la diferencia entre el acero colocado y el acero requerido en todos los puntos a evaluar en la viga, pudiendo obtener resultados positivos, negativos o nulos (0).

$$A_{adicional} = A_{requerido} - A_{colocado} \quad (3.8)$$

- 7) Los resultados negativos y nulos se ignoran, ya que quiere decir que el acero colocado es suficiente. Los resultados positivos indican que en esa zona la sección necesita un refuerzo adicional, el cual con la diferencia de acero obtenida se selecciona una nueva combinación de cabillas que lo satisfaga.

- 8) Es necesario verificar nuevamente si la nueva combinación de cabillas es apta para las dimensiones de la viga, lo cual se realiza de la misma manera que se hizo anteriormente.

$$b > (2 \times r) + (d_b \times n) + (2,5 \times (n - 1))$$

- 9) Se calcula la cuantía mínima dada por la norma (Sec. 18.3.3, p. 118) la cual establece el área de acero de refuerzo mínimo en los lecho superior e inferior:

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y} \quad (3.9)$$

La norma también establece la cuantía máxima permitida, este valor se basa principalmente en condiciones de congestión de acero e indirectamente en la limitación de los esfuerzos de cortante en vigas principales de dimensiones normales.

$$\rho_{max} = 0,025 \quad (3.10)$$

- 10) Luego se calcula la cuantía real y se compara con los valores anteriores (Art. 2.2, p. 20).

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} \quad (3.11)$$

Siendo:

$A_s$ : el área de acero colocado.

$b$ : el ancho de la base de la viga.

$d$ : altura útil de la viga o distancia desde la fibra mas comprimida hasta el baricentro del acero inferior.

Se debe cumplir que:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max} \quad (3.12)$$

11) Para la disposición del acero se buscan las longitudes de desarrollo y ganchos, los cuales se encuentran pre establecidos según el diámetro de la cabilla a utilizar.

- Gancho (Sec. 7.2.2, p. 40):

$$12 \times d_b \quad (3.13)$$

- Longitud de anclaje (Sec. 18.5.4.1, p. 125):

$$Ldh \geq 8 \times d_b \quad (3.14)$$

$$Ldh \geq \frac{d_b \times f_y}{17,2 \times \sqrt{f'_c}} \quad (3.15)$$

$$Ldh \geq 15 \text{ cm}$$

- Longitud disponible:

$$L_{disp} = \text{Ancho del apoyo} - \text{Recubrimiento} \quad (3.16)$$

El recubrimiento cumplirá con la tabla 7.2.4 de Recubrimientos mínimos de la Norma (p. 42). Se debe cumplir que:

$$L_{disp} \geq Ldh$$

12) Los empalmes de las cabillas también se calculan y se debe tener en cuenta que no se permite colocarlos dentro de los nodos y respetando una distancia  $L_{cf}$  a partir de la cara interna del apoyo (Tabla 18.3.4, p. 119).

$Ln/h$	$Lcf$
$\leq 4$	$h$
$4 \leq Ln/h \leq 10$	$\frac{h}{6} \times \left( \frac{Ln}{h} + 2 \right)$
$> 10$	$2h$

$Ln$ : Longitud entre las caras de los apoyos.

$Lcf$ : Longitud de confinamiento.

- 13) La clasificación del empalme (Tabla 12.3.1, p. 88) se determina calculando el porcentaje de acero empalmado:

$$\%AS_{empalmado} = \frac{AS_{empalmado}}{AS_{total}} \times 100 \quad (3.17)$$

Cuando el porcentaje es menor o igual a 50%, el empalme es clase A, y cuando es mayor el empalme es clase B. La longitud del solape clase A es igual a la longitud de desarrollo y el clase B es 1,3 veces la longitud de desarrollo.

$$Ld = \left( \frac{0,283 \times fy}{\sqrt{f'c}} \right) \times \left[ \frac{\alpha \times \beta \times \gamma \times \lambda}{\frac{Cd+Ktr}{d_b}} \right] \times d_b \quad (3.18)$$

La longitud de transferencia a tracción se calcula de acuerdo a lo establecido en el Art. 12.2.

- 14) Se procede al armado de la viga, realizando los empalmes de acero superior en la mitad de los tramos y los empalmes de acero inferior cercano a los nodos, respetando la longitud de confinamiento (Sec. 18.2.3 y Art. 12.4).
- 15) El acero adicional se coloca en las secciones en donde sea necesario. Por seguridad, su longitud se extiende hasta una sección antes y después de lo

teóricamente requerido, y además a partir de allí una distancia “a”, también pre establecida:

$$a = 12 \times d_b \quad (3.19)$$

$$a = d$$

Se escoge la que resulte mayor (Sec. H-12.2.3, p. 237).

- 16) Se procede a calcular el acero transversal o estribos, primero se calcula la separación de los mismos en la zona confinada en base a las siguientes condiciones (Sec. 18.3.4, p. 119):

$$S \leq d/4 \quad (3.20)$$

$$S \leq 8 \times db_{menor} \quad (3.21)$$

$$S \leq 24 \times d_{estribo} \quad (3.22)$$

$$S \leq 30 \text{ cm}$$

Donde se toma la menor distancia entre las anteriores.

- 17) Los estribos se calculan en base la capacidad de la sección y no de la demanda, es por ello que en el artículo 18.3.5 de la norma 1753:2006, se establece la ecuación para calcular la fuerza de corte de diseño ( $V_e$ ).

$$V_e = V_h + V_o = \frac{(M_{pr} \pm) i + (M_{pr} \mp) j}{L_n} + V_o \quad (3.23)$$

donde:

$V_o$ : Fuerza de corte proveniente de las cargas verticales, debidamente mayoradas, determinada en la hipótesis de que la pieza estuviese simplemente apoyada.

$V_h$ : Fuerza de corte, considerando el efecto hiperestático, derivado de los momentos resistentes teóricos de un miembro.

$M_{pr}$ : Momento resistente máximo probable.

- 18) Para obtener la Resistencia teórica a flexión de la sección ( $M_n$ ) se debe primero obtener el valor de "a" (Profundidad o altura del bloque rectangular equivalente de tensiones):

$$a = \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f'_c \times b} \quad (3.24)$$

Luego a partir de éste se obtiene el  $M_n$

$$M_n = \phi \times A_s \times F_y \times (d - a/2) \quad (3.25)$$

Para un  $\phi = 1$  y el  $F_y$  tendrá un factor de aumento de 1,25 (Sec. H-18.4.6.1, p. 261). Se obtienen entonces los valores de la resistencia teórica a flexión tanto positivos como negativos de cada cara del elemento.

- 19) En la fuerza de corte proveniente de cargas verticales mayoradas ( $V_o$ ) se procederá a calcularse a partir de los diferentes tipos de carga de las vigas con la siguiente ecuación:

$$V_o = \frac{qu \times L_n}{2} \quad (3.26)$$

donde:

$$qu = 1,2 CP + \gamma CV \quad (3.27)$$

CP = Carga permanente de la viga.

CV = Carga viva de la viga.

$\gamma$  = Factor de mayoración de la carga viva (Art. 9.3).

- 20) Según el artículo 11.2 se tiene que:

$$\phi V_n \geq V_e \quad (3.28)$$

Se calcula el corte requerido nominal de la siguiente manera:

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.29)$$

Conociendo que:

$$V_n = \frac{V_e}{\phi \times b \times d} \quad (3.30)$$

El corte resistente que aporta el concreto es calculado (Sec. 18.5.2, p. 124):

$$V_c = 0,53 \sqrt{f'_c} \quad (3.31)$$

Se despeja entonces el corte correspondiente al acero de los estribos.

- 21) Con el corte obtenido se asume una cabilla para el estribo y la cantidad de ramas a utilizar en el cálculo de  $A_v$  (Área de acero de refuerzo por corte dentro de una distancia  $s$ ).
- 22) Finalmente se calcula una separación requerida mínima, según la fórmula (11-14) de la Tabla 11.4 (p. 73).

$$S_{\text{cálculo}} = \frac{A_v \times F_y \times d}{V_s} \quad (3.32)$$

Y se compara con las obtenidas anteriormente en el paso 4.1.16. Se toma la menor nuevamente.

- 23) Para la separación de estribos en la zona no confinada, la sección 18.3.4 especifica lo siguiente (p. 119):

$$s \leq d/2 \quad (3.33)$$

$$s \leq S_{\text{cálculo}} \quad (3.34)$$

Se toma el menor de ambos criterios.

24) La representación del armado se realiza debajo de la viga, dibujándose una debajo de la otra y diferenciadas las superiores de las inferiores por el eje neutro. Cada cabilla se etiqueta con su diámetro, número de cabillas y longitud total respectivos.

Los parámetros, requisitos y ecuaciones utilizados en el procedimiento descrito anteriormente, fueron extraídos de la Norma COVENIN 1753:2006 *Proyecto y Construcción de Obras de Concreto Estructural*.

Adicionalmente se realizaron ejemplos de armado de vigas mediante el procedimiento de cálculo previamente descrito. Estos ejemplos, en conjunto con el procedimiento, sirvieron de base en el desarrollo del software

### **3.3.2 Desarrollo del algoritmo del programa, basado en el procedimiento de cálculo realizado anteriormente**

Para elaborar el software se desarrolló un algoritmo de trabajo, el cual incluye las operaciones que comprende el diseño y armado de una viga de concreto reforzado. El mismo se utilizó para especificar las variables (definidas en la Tabla 1) que el software requiere para ejecutar los cálculos, y para plasmar el diseño como resultado. Esto permitió definir cómo funciona el programa y cuáles son las variables que proporciona el usuario, así como también las que están predeterminadas. Empleando herramientas de programación, se construyeron las ventanas en base a un diseño adaptado al agrado del usuario al que va dirigido el programa (Ingenieros Civiles).

**Tabla 1.**

*Definición de variables utilizadas en el algoritmo.*

$a_{11Vij}$	Altura del bloque rectangular equivalente de tensiones de los datos iniciales, para el área de acero superior de la cara izquierda de la viga $Vij$ , cm.
$a_{12Vij}$	Altura del bloque rectangular equivalente de tensiones de los datos iniciales, para el área de acero inferior de la cara izquierda de la viga $Vij$ , cm.
$a_{13Vij}$	Altura del bloque rectangular equivalente de tensiones de los datos iniciales, para el área de acero superior de la cara derecha de la viga $Vij$ , cm.
$a_{14Vij}$	Altura del bloque rectangular equivalente de tensiones de los datos iniciales, para el área de acero inferior de la cara derecha de la viga $Vij$ , cm.
$a_{21Vij}$	Altura del bloque rectangular equivalente de tensiones, para el área de acero superior de la cara izquierda de la viga $Vij$ , cm.
$a_{22Vij}$	Altura del bloque rectangular equivalente de tensiones, para el área de acero inferior de la cara izquierda de la viga $Vij$ , cm.
$a_{23Vij}$	Altura del bloque rectangular equivalente de tensiones, para el área de acero superior de la cara derecha de la viga $Vij$ , cm.
$a_{24Vij}$	Altura del bloque rectangular equivalente de tensiones, para el área de acero inferior de la cara derecha de la viga $Vij$ , cm.
$AestVij$	Área del estribo a utilizar en la viga $Vij$ , $cm^2$ .
$AsAdInfLi Vij$	Área de acero inferior adicional requerida en la locación $Li$ de la viga $Vij$ , $cm^2$ .
$AsAdSupDerVij$	Área de acero superior de refuerzo requerida en el extremo derecho de la viga $Vij$ , $cm^2$ .
$AsAdSupIzqVij$	Área de acero superior de refuerzo requerida en el extremo izquierdo de la viga $Vij$ , $cm^2$ .
$AsAdSupLi Vij$	Área de acero superior adicional requerida en la locación $Li$ de la viga $Vij$ , $cm^2$ .
$AsCollnfC1Vij$	Área de acero corrido inferior para la capa 1 de la viga del nivel $j$ , $cm^2$ .
$AsCollnfC2Vij$	Área de acero corrido inferior para la capa 2 de la viga del nivel $j$ , $cm^2$ .

Tabla 1 (cont.)

AsColInfVj	Área de acero corrido inferior para toda la viga del nivel $j$ , $\text{cm}^2$ .
AsColSupC1Vj	Área de acero corrido superior para la capa 1 de la viga del nivel $j$ , $\text{cm}^2$ .
AsColSupC2Vj	Área de acero corrido superior para la capa 2 de la viga del nivel $j$ , $\text{cm}^2$ .
AsColSupVj	Área de acero corrido superior para toda la viga del nivel $j$ , $\text{cm}^2$ .
AsInfDerVij	Área de acero inferior suministrada por el programa de cálculo estructural, de la cara derecha de la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsInflzqVij	Área de acero inferior suministrada por el programa de cálculo estructural, de la cara izquierda de la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsInfLi Vij	Área de acero inferior requerida en la locación $Li Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsMin1Vij	Área de acero mínima requerida por norma para la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsMin2Vij	Área de acero mínima requerida por la norma según artículo 18.3.3, disposición b. para la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsMinInf1Vij	Área de acero mínima requerida por la norma según artículo 18.3.3, disposición a. para la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsMinInfVij	Área del acero corrido inferior para la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsMinInfVj	Área de acero corrido inferior de la viga del nivel $j$ , $\text{cm}^2$ .
AsMinSupVij	Área del acero corrido superior para la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsMinSupVj	Área de acero corrido superior de la viga del nivel $j$ , $\text{cm}^2$ .
AsSupDerVij	Área de acero superior suministrada por el programa de cálculo estructural, de la cara derecha de la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsSuplqzVij	Área de acero superior suministrada por el programa de cálculo estructural, de la cara izquierda de la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsSupLi Vij	Área de acero superior requerida en la locación $Li Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsTInfC1Vij	Área total de acero inferior colocada en la capa 1 de la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsTInfC2Vij	Área total de acero inferior colocada en la capa 2 de la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsTInfVij	Área total de acero inferior colocada en la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsTSupDerC1Vij	Área total de acero superior colocada en la capa 1 del extremo derecho de la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .
AsTSupDerC2Vij	Área total de acero superior colocada en la capa 2 del extremo derecho de la viga $Vij$ , $\text{cm}^2$ .

Tabla 1 (cont.)

$AsTSupDerVij$	Área total de acero superior colocada en el extremo derecho de la viga $Vij$ , $cm^2$ .
$AsTSupIzqC1Vij$	Área total de acero superior colocada en la capa 1 del extremo izquierdo de la viga $Vij$ , $cm^2$ .
$AsTSupIzqC2Vij$	Área total de acero superior colocada en la capa 2 del extremo izquierdo de la viga $Vij$ , $cm^2$ .
$AsTSupIzqVij$	Área total de acero superior colocada en el extremo izquierdo de la viga $Vij$ , $cm^2$ .
$AsVDerVij$	Área de acero de corte entre separación de la cara derecha de la viga $Vij$ , $cm^2/cm$
$AsVIzqVij$	Área de acero de corte entre separación de la cara izquierda de la viga $Vij$ , $cm^2/cm$
$AvVij$	Área de corte proporcionada por el estribo en la viga $Vij$ , $cm^2$ .
$BAInfC1Vj$	Ancho ocupado por las cabillas de acero corrido inferior en la capa 1 de la viga del nivel $j$ , cm.
$BAInfC2Vj$	Ancho ocupado por las cabillas de acero corrido inferior en la capa 2 de la viga del nivel $j$ , cm.
$BAStSupC1Vj$	Ancho ocupado por las cabillas de acero corrido superior en la capa 1 de la viga del nivel $j$ , cm.
$BAStSupC2Vj$	Ancho ocupado por las cabillas de acero corrido superior en la capa 2 de la viga del nivel $j$ , cm.
$BAStInfC1Vij$	Ancho ocupado por las cabillas de acero total inferior en la capa 1 de la viga $Vij$ , cm.
$BAStInfC2Vij$	Ancho ocupado por las cabillas de acero total inferior en la capa 2 de la viga $Vij$ , cm.
$BAStSupDerC1Vij$	Ancho ocupado por las cabillas de acero total superior en la capa 1 del extremo derecho de la viga $Vij$ , cm.
$BAStSupDerC2Vij$	Ancho ocupado por las cabillas de acero total superior en la capa 2 del extremo derecho de la viga $Vij$ , cm.
$BAStSupIzqC1Vij$	Ancho ocupado por las cabillas de acero total superior en la capa 1 del extremo izquierdo de la viga $Vij$ , cm.
$BAStSupIzqC2Vij$	Ancho ocupado por las cabillas de acero total superior en la capa 2 del extremo izquierdo de la viga $Vij$ , cm.
$BCij$	Ancho de la columna, donde $i$ se refiere al número de tramo de izquierda a derecha y $j$ se refiere al nivel del pórtico de abajo hacia arriba, cm.
$BVij$	Ancho de la viga $Vij$ , cm.
$CDVij$	Estación de la cara derecha de la viga $Vij$ , cm.

Tabla 1 (cont.)

$C_{Vij}$	Estación de la cara izquierda de la viga $V_{ij}$ , cm.
$DbAdInfV_{ij}$	Diámetro máximo de cabilla de refuerzo en el lecho inferior de la viga $V_{ij}$ , cm.
$DbAdSupV_{ij}$	Diámetro máximo de cabilla de refuerzo en el lecho superior de la viga $V_{ij}$ , cm.
$DbInfV_{ij}$	Diámetro máximo de cabilla en el lecho inferior de la viga $V_{ij}$ , cm.
$DbMinLongV_{ij}$	Diámetro menor del acero longitudinal colocado en la viga $V_{ij}$ , cm.
$DbSupV_{ij}$	Diámetro máximo de cabilla en el lecho superior de la viga $V_{ij}$ , cm.
$DDEIV_{ij}$	Distancia derecha al eje izquierdo de la viga $V_{ij}$ , cm.
$DestV_{ij}$	Diámetro del estribo a utilizar en la viga $V_{ij}$ , cm.
$DIEDV_{ij}$	Distancia izquierda al eje derecho de la viga $V_{ij}$ , cm.
$dInfV_{ij}$	Distancia preestablecida para extender el acero de refuerzo inferior a partir de la sección donde no se requiera, cm.
$dSupV_{ij}$	Distancia preestablecida para extender el acero de refuerzo superior a partir de la sección donde no se requiera, cm.
Factor $F_y$	Factor de amplificación de la resistencia cedente del acero longitudinal para la obtención del momento nominal.
$F_c$	Resistencia cilíndrica del concreto en compresión a los 28 días, $kg/cm^2$ .
$F_y$	Resistencia cedente del acero longitudinal, $kg/cm^2$ .
$F_{yv}$	Resistencia cedente del acero de corte, $kg/cm^2$ .
$GanchoDerInfV_j$	Longitud del gancho inferior derecho de la viga del nivel $j$ , cm.
$GanchoDerSupV_j$	Longitud del gancho superior derecho de la viga del nivel $j$ , cm.
$GanchoIzqInfV_j$	Longitud del gancho inferior izquierdo de la viga del nivel $j$ , cm.
$GanchoIzqSupV_j$	Longitud del gancho superior izquierdo de la viga del nivel $j$ , cm.
$H_{V_{ij}}$	Altura de la viga $V_{ij}$ , cm.
$L_{cfV_{ij}}$	Longitud de confinamiento de la viga $V_{ij}$ , cm.
$L_{desInf11V_j}$	Longitud de desarrollo de las cabillas número 1 3/8" del lecho inferior de la viga del nivel $V_j$ , cm.
$L_{desInf4V_j}$	Longitud de desarrollo de las cabillas número 1/2" del lecho inferior de la viga del nivel $V_j$ , cm.
$L_{desInf5V_j}$	Longitud de desarrollo de las cabillas número 5/8" del lecho inferior de la viga del nivel $V_j$ , cm.

Tabla 1 (cont.)

LdesInf6Vj	Longitud de desarrollo de las cabillas número 3/4" del lecho inferior de la viga del nivel Vj , cm.
LdesInf7Vj	Longitud de desarrollo de las cabillas número 7/8" del lecho inferior de la viga del nivel Vj , cm.
LdesInf8Vj	Longitud de desarrollo de las cabillas número 1" del lecho inferior de la vig, del nivel Vj , cm.
LdesSup11Vj	Longitud de desarrollo de las cabillas número 1 3/8" del lecho superior de la viga del nivel Vj , cm.
LdesSup4Vj	Longitud de desarrollo de las cabillas número 1/2" del lecho superior de la viga del nivel Vj , cm.
LdesSup5Vj	Longitud de desarrollo de las cabillas número 5/8" del lecho superior de la viga del nivel Vj , cm.
LdesSup6Vj	Longitud de desarrollo de las cabillas número 3/4" del lecho superior de la viga del nivel Vj , cm.
LdesSup7Vj	Longitud de desarrollo de las cabillas número 7/8" del lecho superior de la viga del nivel Vj , cm.
LdesSup8Vj	Longitud de desarrollo de las cabillas número 1" del lecho superior de la vig, del nivel Vj , cm.
LdhInfDerVij	Longitud de anchaje de las cabillas del lecho inferior derecho de la viga Vij , cm.
LdhInfDerVj	Longitud de anchaje de las cabillas del lecho inferior derecho de la viga del nivel j , cm.
LdhInflzqVij	Longitud de anchaje de las cabillas del lecho inferior izquierdo de la viga Vij , cm.
LdhInflzqVj	Longitud de anchaje de las cabillas del lecho inferior izquierdo de la viga del nivel j , cm.
LdhInfVij	Longitud de anchaje de la cabilla de máximo diámetro del lecho inferior viga Vij , cm.
LdhSupDerVj	Longitud de anchaje de las cabillas del lecho superior derecho de la viga del nivel j , cm.
LdhSuplqzVj	Longitud de anchaje de las cabillas del lecho superior izquierdo de la viga del nivel j , cm.
LdisDerVij	Longitud disponible derecha de la viga Vij para el anclaje de las cabillas, cm.
LdisDerVj	Longitud disponible derecha de la viga del nivel j para el anclaje de las cabillas, cm.
LdislqzVij	Longitud disponible izquierda de la viga Vij para el anclaje de las cabillas, cm.
LdislqzVj	Longitud disponible izquierda de la viga del nivel j para el anclaje de las cabillas, cm.

Tabla 1 (cont.)

$L_{ij}$	Distancia entre ejes de cada tramo de viga, donde $i$ se refiere al número de tramo de izquierda a derecha y $j$ se refiere al nivel del pórtico, m.
$L_i V_{ij}$	Locación en donde se leerá el acero requerida en la viga $V_{ij}$ , donde $i$ indica el número de locación, cm.
$L_n V_{ij}$	Longitud libre entre apoyos de la viga $V_{ij}$ , cm.
$MaxH_{Vj}$	Máxima altura de viga del nivel $j$ , cm.
$M_{pr11V_{ij}}$	Momento resistente máximo probable de los datos iniciales, para el área de acero superior izquierda de la viga $V_{ij}$ , Kg $f^*$ cm.
$M_{pr12V_{ij}}$	Momento resistente máximo probable de los datos iniciales, para el área de acero inferior izquierda de la viga $V_{ij}$ , Kg $f^*$ cm.
$M_{pr13V_{ij}}$	Momento resistente máximo probable de los datos iniciales, para el área de acero superior derecha de la viga $V_{ij}$ , Kg $f^*$ cm.
$M_{pr14V_{ij}}$	Momento resistente máximo probable de los datos iniciales, para el área de acero inferior derecha de la viga $V_{ij}$ , Kg $f^*$ cm.
$M_{pr21V_{ij}}$	Momento resistente máximo probable para el área de acero superior izquierda de la viga $V_{ij}$ , Kg $f^*$ cm.
$M_{pr22V_{ij}}$	Momento resistente máximo probable para el área de acero inferior izquierda de la viga $V_{ij}$ , Kg $f^*$ cm.
$M_{pr23V_{ij}}$	Momento resistente máximo probable para el área de acero superior derecha de la viga $V_{ij}$ , Kg $f^*$ cm.
$M_{pr24V_{ij}}$	Momento resistente máximo probable para el área de acero inferior derecha de la viga $V_{ij}$ , Kg $f^*$ cm.
$NCab11InfC1V_j$	Número de cabillas de acero corrido inferior de 1 3/8" en la capa 1 del nivel $j$ .
$NCab11InfC2V_j$	Número de cabillas de acero corrido inferior de 1 3/8" en la capa 2 del nivel $j$ .
$NCab11SupC1V_j$	Número de cabillas de acero corrido superior de 1 3/8" en la capa 1 del nivel $j$ .
$NCab11SupC2V_j$	Número de cabillas de acero corrido superior de 1 3/8" en la capa 2 del nivel $j$ .
$NCab4InfC1V_j$	Número de cabillas de acero corrido inferior de 1/2" en la capa 1 del nivel $j$ .
$NCab4InfC2V_j$	Número de cabillas de acero corrido inferior de 1/2" en la capa 2 del nivel $j$ .

Tabla 1 (cont.)

NCab4SupC1Vj	Número de cabillas de acero corrido superior de 1/2" en la capa 1 del nivel j.
NCab4SupC2Vj	Número de cabillas de acero corrido superior de 1/2" en la capa 2 del nivel j.
NCab5InfC1Vj	Número de cabillas de acero corrido inferior de 5/8" en la capa 1 del nivel j.
NCab5InfC2Vj	Número de cabillas de acero corrido inferior de 5/8" en la capa 2 del nivel j.
NCab5SupC1Vj	Número de cabillas de acero corrido superior de 5/8" en la capa 1 del nivel j.
NCab5SupC2Vj	Número de cabillas de acero corrido superior de 5/8" en la capa 2 del nivel j.
NCab6InfC1Vj	Número de cabillas de acero corrido inferior de 3/4" en la capa 1 del nivel j.
NCab6InfC2Vj	Número de cabillas de acero corrido inferior de 3/4" en la capa 2 del nivel j.
NCab6SupC1Vj	Número de cabillas de acero corrido superior de 3/4" en la capa 1 del nivel j.
NCab6SupC2Vj	Número de cabillas de acero corrido superior de 3/4" en la capa 2 del nivel j.
NCab7InfC1Vj	Número de cabillas de acero corrido inferior de 7/8" en la capa 1 del nivel j.
NCab7InfC2Vj	Número de cabillas de acero corrido inferior de 7/8" en la capa 2 del nivel j.
NCab7SupC1Vj	Número de cabillas de acero corrido superior de 7/8" en la capa 1 del nivel j.
NCab7SupC2Vj	Número de cabillas de acero corrido superior de 7/8" en la capa 2 del nivel j.
NCab8InfC1Vj	Número de cabillas de acero corrido inferior de 1" en la capa 1 del nivel j.
NCab8InfC2Vj	Número de cabillas de acero corrido inferior de 1" en la capa 2 del nivel j.
NCab8SupC1Vj	Número de cabillas de acero corrido superior de 1" en la capa 1 del nivel j.
NCab8SupC2Vj	Número de cabillas de acero corrido superior de 1" en la capa 2 del nivel j.
NCabAd11InfC1Vij	Número de cabillas adicionales inferiores de 1 3/8" en la capa 1 de la viga Vij .
NCabAd11InfC2Vij	Número de cabillas adicionales inferiores de 1 3/8" en la capa 2 de la viga Vij .

Tabla 1 (cont.)

NCabAd11SupDerC1Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 1 3/8" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd11SupDerC2Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 1 3/8" en la capa 2 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd11SupIzqC1Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 1 3/8" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd11SupIzqC2Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 1 3/8" en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd4InfC1Vij	Número de cabillas adicionales inferiores de 1/2" en la capa 1 de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd4InfC2Vij	Número de cabillas adicionales inferiores de 1/2" en la capa 2 de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd4SupDerC1Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 1/2" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd4SupDerC2Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 1/2" en la capa 2 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd4SupIzqC1Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 1/2" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd4SupIzqC2Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 1/2" en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd5InfC1Vij	Número de cabillas adicionales inferiores de 5/8" en la capa 1 de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd5InfC2Vij	Número de cabillas adicionales inferiores de 5/8" en la capa 2 de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd5SupDerC1Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 5/8" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd5SupDerC2Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 5/8" en la capa 2 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd5SupIzqC1Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 5/8" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd5SupIzqC2Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 5/8" en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd6InfC1Vij	Número de cabillas adicionales inferiores de 3/4" en la capa 1 de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd6InfC2Vij	Número de cabillas adicionales inferiores de 3/4" en la capa 2 de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd6SupDerC1Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 3/4" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd6SupDerC2Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 3/4" en la capa 2 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd6SupIzqC1Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 3/4" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .

Tabla 1 (cont.)

NCabAd6SupIzqC2Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 3/4" en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd7InfC1Vij	Número de cabillas adicionales inferiores de 7/8" en la capa 1 de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd7InfC2Vij	Número de cabillas adicionales inferiores de 7/8" en la capa 2 de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd7SupDerC1Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 7/8" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd7SupDerC2Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 7/8" en la capa 2 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd7SupIzqC1Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 7/8" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd7SupIzqC2Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 7/8" en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd8InfC1Vij	Número de cabillas adicionales inferiores de 1" en la capa 1 de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd8InfC2Vij	Número de cabillas adicionales inferiores de 1" en la capa 2 de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd8SupDerC1Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 1" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd8SupDerC2Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 1" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd8SupIzqC1Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 1" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabAd8SupIzqC2Vij	Número de cabillas adicionales superiores de 1" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabAdInfC1Vij	Número de cabillas de acero adicionales inferiores en la capa 1 de la viga <i>Vij</i> .
NCabAdInfC2Vij	Número de cabillas de acero adicionales inferiores en la capa 2 de la viga <i>Vij</i> .
NCabAdSupDerC1Vij	Número de cabillas de acero adicionales superiores en la capa 1 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAdSupDerC2Vij	Número de cabillas de acero adicionales superiores en la capa 2 del apoyo derecho de la viga <i>Vij</i> .
NCabAdSupIzqC1Vij	Número de cabillas de acero adicionales superiores en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabAdSupIzqC2Vij	Número de cabillas de acero adicionales superiores en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga <i>Vij</i> .
NCabInfC1Vj	Número de cabillas de acero corrido inferior en la capa 1 del nivel <i>j</i> .

Tabla 1 (cont.)

NCabInfC2Vj	Número de cabillas de acero corrido inferior en la capa 2 del nivel $j$ .
NCabSupC1Vj	Número de cabillas de acero corrido superior en la capa 1 del nivel $j$ .
NCabSupC2Vj	Número de cabillas de acero corrido superior en la capa 2 del nivel $j$ .
NivelVij	Etiqueta del nivel de la viga $Vij$ .
NramasVij	Número de ramas a colocar en el estribo de la viga $Vij$ .
PlnfVij	Cuantía de acero en el lecho inferior de la viga $Vij$ .
Pmax	Cuantía de acero máxima exigida por norma.
Pmin	Cuantía de acero mínima exigida por norma.
PSupVij	Cuantía de acero en el lecho superior de la viga $Vij$ .
Rec	Recubrimiento de las cabillas, cm.
ScVij	Separación de cálculo para el área de acero de refuerzo por corte, de la viga $Vij$ , cm.
SestZCVij	Separación de los estribos en la zona confinada de la viga $Vij$ , cm.
SestZNCVij	Separación de los estribos en la zona no confinada de la viga $Vij$ , cm.
SvVij	Separación exigida por norma de los estribos para la zona confinada, de la viga $Vij$ , cm.
V0Vij	Fuerza de corte proveniente de las cargas verticales debidamente mayoradas, determinada en la hipótesis de que la pieza estuviese simplemente apoyada, de la viga $Vij$ , kgf.
Ve1DerVij	Fuerza de corte de diseño para los datos iniciales, en la cara derecha de la viga $Vij$ , kgf.
Ve1IzqVij	Fuerza de corte de diseño para los datos iniciales, en la cara izquierda de la viga $Vij$ , kgf.
Ve1Vij	Fuerza de corte de diseño para los datos iniciales de la viga $Vij$ , kgf.
Ve2Vij	Fuerza de corte de diseño para la viga $Vij$ , kgf.
Vhp11Vij	Fuerza de corte, considerando el efecto hiperestático para los datos iniciales de la viga $V_i$ , tomando en cuenta $M_{pr11Vij}$ y $M_{pr14Vij}$ , kgf.
Vhp12Vij	Fuerza de corte, considerando el efecto hiperestático para los datos iniciales de la viga $Vij$ , tomando en cuenta $M_{pr12Vij}$ y $M_{pr13Vij}$ , kgf.
Vhp1Vij	Fuerza de corte, considerando el efecto hiperestático para los datos iniciales de la viga $Vij$ , kgf.

Tabla 1 (cont.)

$V_{hp21Vij}$	Fuerza de corte, considerando el efecto hiperestático de la viga $V_i$ , tomando en cuenta $M_{pr11Vij}$ y $M_{pr14Vij}$ , kgf.
$V_{hp22Vij}$	Fuerza de corte, considerando el efecto hiperestático de la viga $V_{ij}$ , tomando en cuenta $M_{pr12Vij}$ y $M_{pr13Vij}$ , kgf.
$V_{hp2Vij}$	Fuerza de corte, considerando el efecto hiperestático de la viga $V_{ij}$ , kgf.
$V_{ij}$	Etiqueta de la viga, donde $i$ se refiere al número de tramo de izquierda a derecha y $j$ se refiere al nivel del pórtico de abajo hacia arriba.
$V_{sVij}$	Área de acero de refuerzo por corte dentro de una distancia $S$ , de la viga $V_{ij}$ , $cm^2$ .

### 3.3.3 Comprobación del algoritmo desarrollado

A fines de evaluar el correcto funcionamiento del algoritmo desarrollado se realizó un ejemplo de cálculo manual. Para ello se realizó una estructura como se aprecia en la Figura 14.

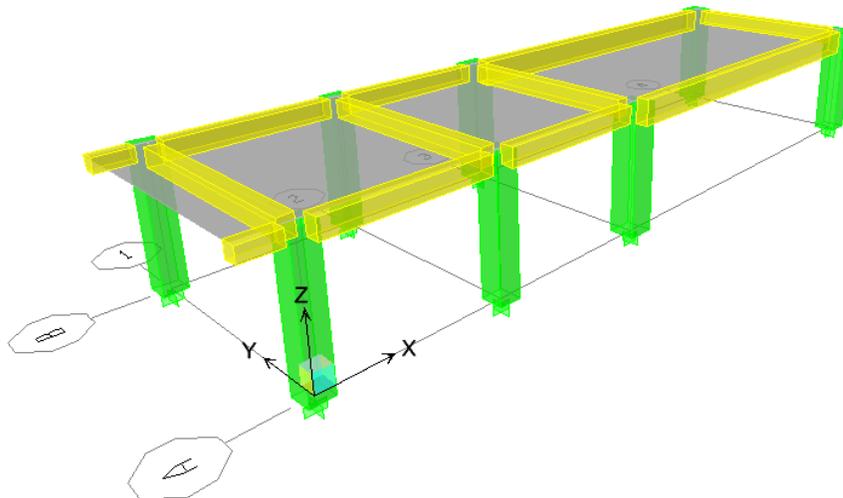


Figura 14. Vista de la estructura en tres dimensiones.

La planta y secciones de los elementos se aprecian en la Figura 15. Nótese que cada una de las vigas tiene una etiqueta la cual es única para toda la estructura.

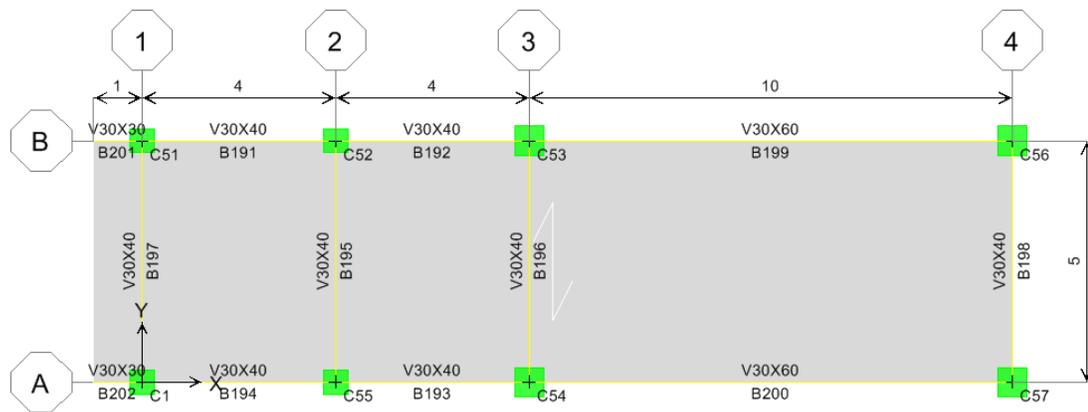


Figura 15. Planta de la estructura y etiqueta de las vigas.

Para el modelado se utilizó una membrana para distribuir las cargas en dirección Y a las vigas. Para la estructura se utilizaron las siguientes cargas:

- $CP = 2500 \text{ kg/m}^3$  por volumen de concreto, éste es determinado por el programa de cálculo estructural. La Norma Venezolana Covenin 2002-88, *Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones*, lo establece en la tabla 4.1 para un concreto armado de agregados ordinarios.
- $SCP = 700 \text{ kg/m}^2$ .
- $CV = 300 \text{ kg/m}^2$

donde:

CP: Carga permanente (Peso de los elementos, vigas y columnas).

SCP: Sobrecarga permanente (Peso de la losa).

CV: Carga variable.

Además de las cargas estáticas anteriormente descritas, se le incorporó al modelo estructural un espectro de diseño (Figura 16), para una estructura con los parámetros siguientes:

- Zona sísmica 5.
- Forma espectral S3.
- $\varphi=0,75$ .
- Grupo B2
- Nivel de diseño = 3.
- Tipo de estructura: I.
- Factor de reducción de respuesta(R) = 6.

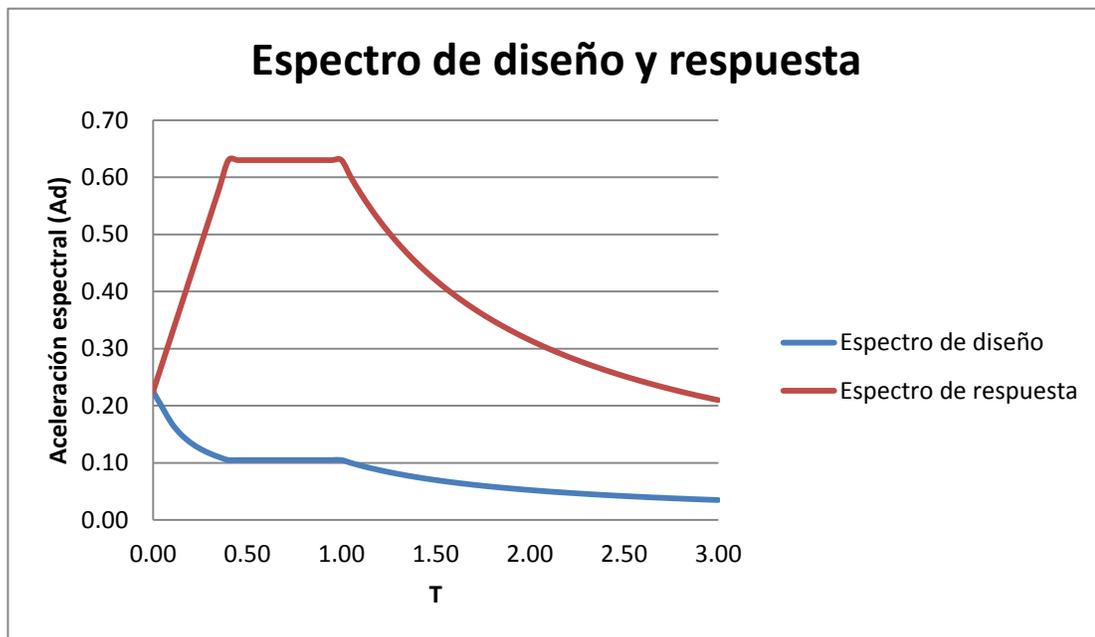


Figura 16. Espectro de diseño y respuesta utilizado en la estructura.

Luego de un análisis y del diseño de las secciones mediante las combinaciones de carga establecidas en el artículo 9.3 de la *Norma Venezolana 1753:2006, PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL*, el área de acero por viga se aprecia en la Figura 17.

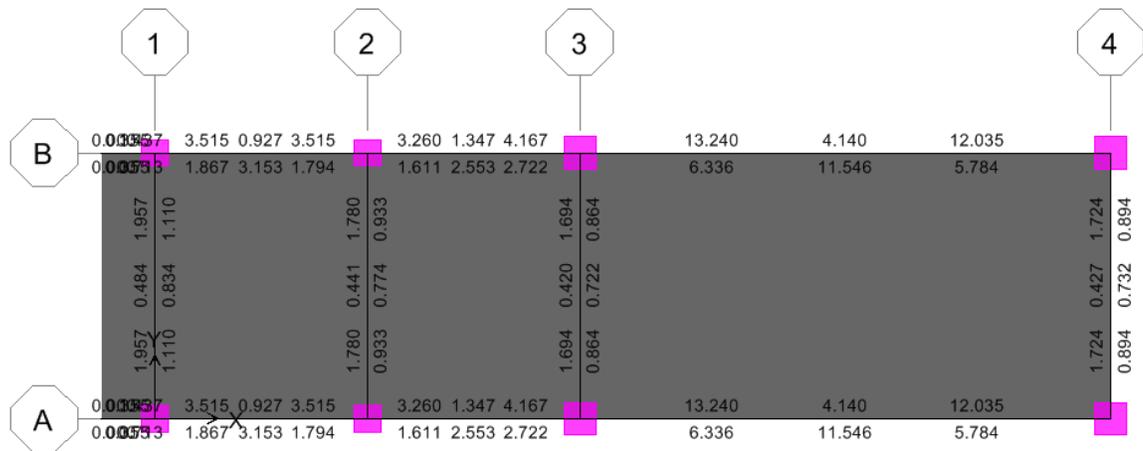


Figura 17. Área de acero requerida en cada una de las vigas de la estructura.

La tabla de datos generada por el programa ETABS® se encuentra en el APÉNDICE A, la cual se utilizó para realizarse el ejemplo de armado de vigas.

### 3.3.4 Diseño del programa de armado de vigas de concreto reforzado

Para el diseño del programa se realizó el esquema de las ventanas de introducción de datos en conjunto con ingenieros especialistas, enfocándose en que las mismas resulten dinámicas y fáciles para el usuario. Todas las funciones del programa fueron pensadas para satisfacer los requerimientos de cada usuario, así como sus preferencias en cuanto a presentación de los resultados.

Se planteó el programa de la forma más automatizada posible, pero dejando espacio a la intervención del ingeniero. Así el programa es de uso profesional y adaptable al criterio de cada proyectista. Para que el uso sea más eficiente se comenzó predeterminando algunos valores por defecto, estos se establecieron de acuerdo a valores mínimos establecidos en la norma COVENIN MINDUR 1753:2006 y

en lo más usado en la práctica por los ingenieros proyectistas consultados. Cabe recalcar que todos estos valores pueden ser modificados por el usuario, los mismos se presentan a continuación:

$$F_c = 250 \text{ kg/cm}^2.$$

$$F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2.$$

$$F_{yv} = 4200 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Factor } F_y = 1,25.$$

$$R_{ec} = 5 \text{ cm.}$$

$$P_{max} = 0,025$$

$$B_{C_{ij}} = 30 \text{ cm.}$$

$$B_{V_{ij}} = 25 \text{ cm.}$$

$$H_{V_{ij}} = 25 \text{ cm.}$$

$$L_{ij} = 4 \text{ m.}$$

### 3.3.5 Evaluación de la eficiencia del software

Para realizar la evaluación de la eficiencia del software se realizaron pruebas a profesionales del trabajo de armado de vigas para el ejemplo de cálculo anteriormente expuesto. La prueba consistió en cronometrar el armado de la viga en dos formas: ejecutando los cálculos manualmente y con la ayuda del Programa de Armado de Vigas (PAV), con el fin de estimar cuánto tiempo se ahorra con la utilización de este nuevo programa y así; medir los beneficios que aporta a los futuros usuarios.

### 3.4 Población y muestra

Para evaluar la eficiencia del programa se seleccionaron ingenieros civiles proyectistas con mínimo cinco (5) años de experiencia laboral en cálculo estructural, que posean un curso especializado en el área adicional a la formación de pregrado.

La muestra de la población fue de  $n=3$ .

### 3.5 Técnicas de recolección de datos

Mediante la investigación documental, se obtuvieron datos provenientes principalmente de la revisión bibliográfica de:

- Libros de texto especializados en el diseño de elementos de concreto.
- Normativa legal vigente venezolana referente al diseño de elementos en concreto armado.
- Libros de texto especializados en programación y diseño de software.

Se realizaron también consultas web y consultas con especialistas en las áreas de ingeniería estructural y programación. Esto permitió además obtener la información necesaria para que el diseño del programa se adaptara a las necesidades de los ingenieros proyectistas.

Mediante la investigación de campo, se obtuvieron los datos para evaluar la eficiencia del programa, por medición de los tiempos empleados por el usuario en realizar el cálculo manual ( $t_m$ ), y en ingresar los datos al programa y obtener el resultado ( $t_p$ ).

### 3.6 Análisis de Datos

En esta fase se han conceptualizado todas las variables que deben ser ingresadas por el usuario, así como aquellas provenientes del cálculo realizado por el software, en función de que el mismo realice todas las verificaciones para que el diseño de la viga cumpla con la normativa venezolana.

Para evaluar la eficiencia del programa se determinó lo siguiente: i) el número de veces (**N**) que aumenta el tiempo empleado por el usuario en ingresar los datos al programa y obtener el resultado, respecto al tiempo que emplea el usuario en realizar el cálculo manual; y ii) el porcentaje de ahorro de tiempo empleando el programa respecto al cálculo manual (**A**).

Se calcularon **N** y **A** mediante las siguientes ecuaciones:

$$N = \frac{t_m}{t_p} \quad (3.35)$$

$$A = \frac{t_m - t_p}{t_m} \times 100\% \quad (3.36)$$

## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Algoritmo desarrollado como base del software para el armado de vigas de concreto reforzado

El algoritmo consta de una serie de pasos, los cuales se despliegan a continuación:

Se dibujan las vigas, columnas, así como sus respectivos ejes y dimensiones.

1. Se leen los valores ingresados al programa:

***F<sub>c</sub>***: Resistencia cilíndrica del concreto en compresión,  $\text{kg/cm}^2$ .

***F<sub>y</sub>***: Resistencia cedente del acero longitudinal,  $\text{kg/cm}^2$ .

***F<sub>yv</sub>***: Resistencia cedente del acero de corte,  $\text{kg/cm}^2$ .

***FactorF<sub>y</sub>***: Factor de amplificación de la resistencia cedente del acero longitudinal para la obtención del momento nominal.

***Rec***: Recubrimiento de las cabillas, cm.

***P<sub>max</sub>***: Cuantía máxima.

2. Se leen los datos del dibujo donde se tienen:

**$V_{ij}$** : Etiqueta de la viga, donde  $i$  se refiere al número de tramo de izquierda a derecha y  $j$  se refiere al nivel del pórtico.

**$NivelV_{ij}$** : Etiqueta del nivel de la viga  $V_{ij}$ .

**$L_{ij}$** : Longitud en metros de la distancia entre ejes de cada tramo, donde  $i$  se refiere al número de tramo de izquierda a derecha y  $j$  se refiere al nivel del pórtico.

**$DDEIV_{ij}$** : Distancia derecha en centímetros al eje izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

**$DIEDV_{ij}$** : Distancia izquierda en centímetros al eje derecho de la viga  $V_{ij}$ .

**$BV_{ij}$** : Ancho de la viga  $V_{ij}$ , en centímetros.

**$HV_{ij}$** : Altura de la viga  $V_{ij}$ , en centímetros.

**$BC_{ij}$** : Ancho de la columna, donde  $i$  se refiere al número de tramo de izquierda a derecha y  $j$  se refiere al nivel del pórtico.

Para comprender mejor la asociación de estas variables con el dibujo se presenta la Figura 18 a continuación:

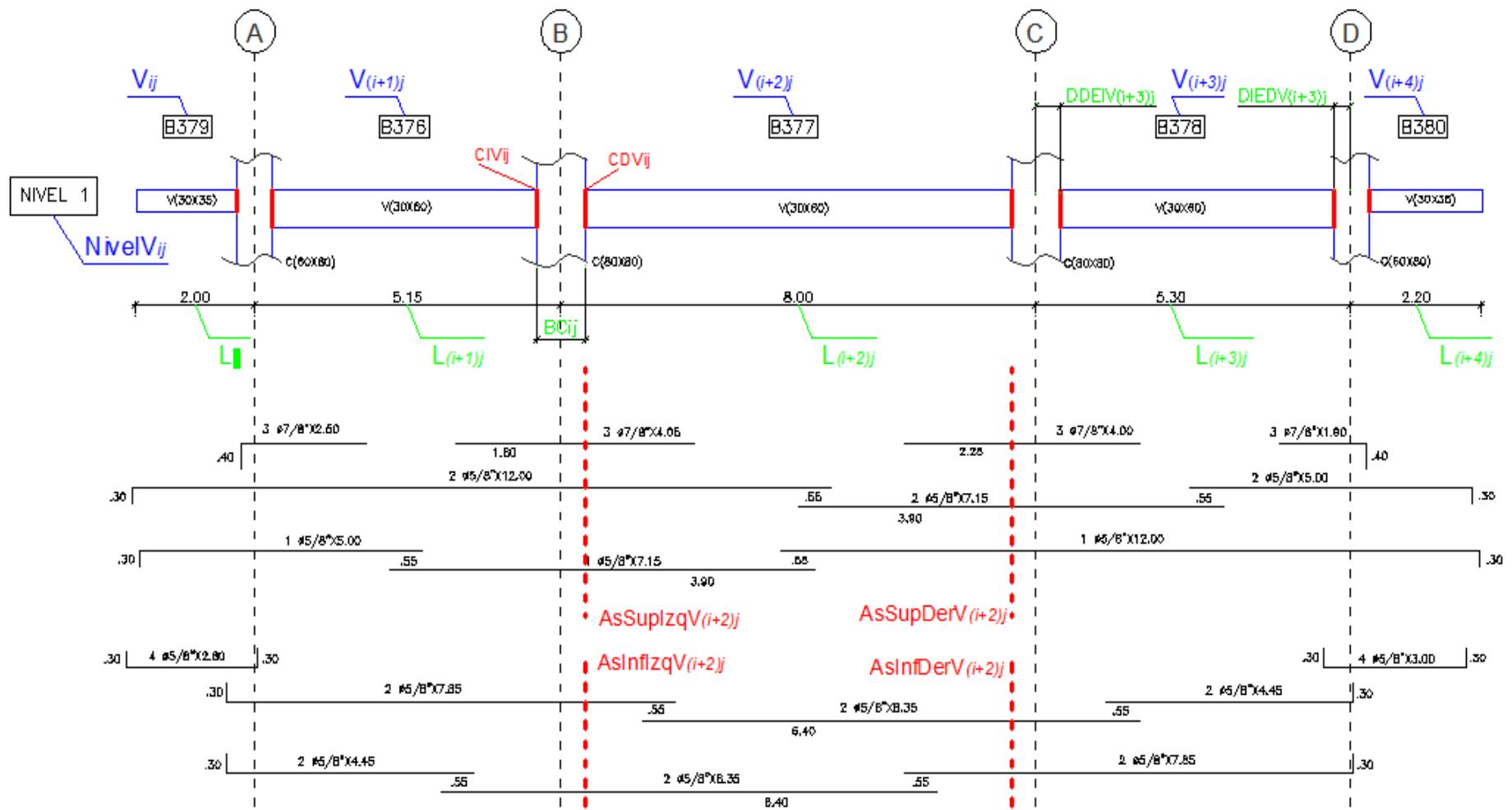


Figura 18. Asociación del dibujo con los valores de las variables.

3. Se calcula la estación donde se encuentran ubicadas las caras de cada una de las vigas.

$$CIV_{ij} = L_{ij} \times 100 - (L_{ij} \times 100 - DDEIV_{ij}) \quad (4.1)$$

$$CDV_{ij} = L_{ij} \times 100 - DIEDV_{ij} \quad (4.2)$$

**CIV<sub>ij</sub>**: Estación de la cara izquierda de la viga  $V_{ij}$ .

**CDV<sub>ij</sub>**: Estación de la cara derecha de la viga  $V_{ij}$ .

4. Se leen de las tablas importadas previamente los siguientes datos:

**AsSupIzqV<sub>ij</sub>**: Área de acero superior de la cara izquierda de la viga  $V_{ij}$ , se busca en las tablas a partir de las variables:  $V_{ij}$ , **NIVELV<sub>ij</sub>** y **CIV<sub>ij</sub>**.

**AsSupDerV<sub>ij</sub>**: Área de acero superior de la cara derecha de la viga  $V_{ij}$ , se busca en las tablas a partir de las variables:  $V_{ij}$ , **NIVELV<sub>ij</sub>** y **CIV<sub>ij</sub>**.

**AsInfIzqV<sub>ij</sub>**: Área de acero inferior de la cara izquierda de la viga  $V_{ij}$ , se busca en las tablas a partir de las variables:  $V_{ij}$ , **NIVELV<sub>ij</sub>** y **CIV<sub>ij</sub>**.

**AsInfDerV<sub>ij</sub>**: Área de acero inferior de la cara derecha de la viga  $V_{ij}$ , se busca en las tablas a partir de las variables:  $V_{ij}$ , **NIVELV<sub>ij</sub>** y **CIV<sub>ij</sub>**.

5. Se calcula el área mínima de acero para cada una de los tramos según el artículo 18.3.3. de la Norma Venezolana 1753:2006

$$AsMin1V_{ij} = \frac{14}{F_y} \times BV_{ij} \times (HV_{ij} - Rec) \quad (4.3)$$

**AsMin1V<sub>ij</sub>**: Área de acero mínima requerida por norma,  $\text{cm}^2$ .

6. Se determinan las áreas de acero para el lecho superior de la viga.

$$\begin{aligned} & \mathbf{AsMin2Vij} \\ & = \frac{\text{Max} (AsSupIzqVij, AsSupDerVij, AsInfIzqVij, AsInfDerVij)}{4} \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\mathbf{AsMinSupVij} = \text{Max} (AsMin1Vij, AsMin2Vij) \quad (4.5)$$

$$\mathbf{AsMinSupVj} = \text{Max} (AsMinSupVij, AsMinSupV_{i+1j}, \dots, AsMinSupVnj) \quad (4.6)$$

**AsMinSupV<sub>j</sub>**: Acero corrido superior de la viga del nivel j.

7. Se calculan las áreas de acero para el lecho inferior de la viga.

$$\mathbf{AsMinInf1Vij} = \frac{\text{Max} (AsSupIzqVij, AsSupDerVij)}{2} \quad (4.7)$$

$$\mathbf{AsMinInfVij} = \text{Max} (AsMin1Vij, AsMin2Vij, AsMinInf1Vij) \quad (4.8)$$

$$\mathbf{AsMinInfVj} = \text{Max} (AsMinInfVij, AsMinInfV_{i+1j}, \dots, AsMinInfVnj) \quad (4.9)$$

**AsMinInfV<sub>j</sub>**: Acero corrido para el lecho inferior de la viga del nivel j.

8. Una vez obtenidas las áreas de acero corrido tanto superior como inferior se procede a seleccionar el diámetro de las cabillas a utilizar. La selección de los mismos se realiza mediante la ventanamostrada en la Figura 19.

PAV ACERO CORRIDO SUPERIOR

DIÁMETRO	CAPA 1	CAPA 2
1/2" ▾		
5/8" ●		
3/4" ●		
7/8" ●		
1" ●		
1 3/8" ●		

As REQUERIDO	As COLOCADO

CONTROL DE ORDEN DE CABILLAS - DESPLAZABLE

Capa 1  
Capa 2

Separación entre barras ✓

ATRÁS ACEPTAR

Figura 19. Ventana para ingresar las cabillas que conforman el área de acero corrido superior.

Se lee para la primera capa:

***NCab4SupC1V<sub>j</sub>***: Número de cabillas de 1/2" en la capa 1.

***NCab5SupC1V<sub>j</sub>***: Número de cabillas de 5/8" en la capa 1.

***NCab6SupC1V<sub>j</sub>***: Número de cabillas de 3/4" en la capa 1.

***NCab7SupC1V<sub>j</sub>***: Número de cabillas de 7/8" en la capa 1.

***NCab8SupC1V<sub>j</sub>***: Número de cabillas de 1" en la capa 1.

***NCab11SupC1V<sub>j</sub>***: Número de cabillas de 1 3/8" en la capa 1.

Para luego calcular:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{NCabSupC1Vj} \\
 & = \text{NCab4SupC1Vj} + \text{NCab5SupC1Vj} \\
 & + \text{NCab6SupC1Vj} + \text{NCab7SupC1Vj} \quad (4.10) \\
 & + \text{NCab8SupC1Vj} + \text{NCab11SupC1Vj}
 \end{aligned}$$

**NCabSupC1Vj:** Número de cabillas de acero corrido superior en la capa 1.

Se lee para la segunda capa:

**NCab4SupC2Vj:** Número de cabillas de 1/2" en la capa 2.

**NCab5SupC2Vj:** Número de cabillas de 5/8" en la capa 2.

**NCab6SupC2Vj:** Número de cabillas de 3/4" en la capa 2.

**NCab7SupC2Vj:** Número de cabillas de 7/8" en la capa 2.

**NCab8SupC2Vj:** Número de cabillas de 1" en la capa 2.

**NCab11SupC2Vj:** Número de cabillas de 1 3/8" en la capa 2.

Para luego calcular:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{NCabSupC2Vj} \\
 & = \text{NCab4SupC2Vj} + \text{NCab5SupC2Vj} \\
 & + \text{NCab6SupC2Vj} + \text{NCab7SupC2Vj} \quad (4.11) \\
 & + \text{NCab8SupC2Vj} + \text{NCab11SupC2Vj}
 \end{aligned}$$

**NCabSupC2Vj:** Número de cabillas de acero corrido superior en la capa 2.

Para chequear si la combinación de cabillas escogida es adecuada para el tamaño de la sección y tomando en cuenta el recubrimiento y espacio normativo entre cabillas se tiene:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{BAsSupC1Vj} &= (2 \times \mathit{Rec}) \\
 &+ \{ \mathit{NCab4SupC1Vj} \times 1.270 + \mathit{NCab5SupC1Vj} \times 1.588 \\
 &+ \mathit{NCab6SupC1Vj} \times 1.905 + \mathit{NCab7SupC1Vj} \times 2.222 \\
 &+ \mathit{NCab8SupC1Vj} \times 2.540 + \mathit{NCab11SupC1Vj} \times 3.581 \} \\
 &+ \{ 2.5 \times (\mathit{NCabSup1Vj} - 1) \}
 \end{aligned} \tag{4.12}$$

**$BAsSupC1V_j$** : Ancho ocupado por las cabillas de acero corrido superior en la capa 1 de la viga del nivel j.

Se debe verificar que:

$$\mathbf{BAsSupC1Vj} \leq (\mathit{BV}_{ij}, \mathit{BV}_{i+1j}, \dots, \mathit{BV}_{nj}) \tag{4.13}$$

Con esta operación se tiene el valor de la variable  **$AsColSupC1V_j$** .

$$\begin{aligned}
 \mathbf{BAsSupC2Vj} &= (2 \times \mathit{Rec}) \\
 &+ \{ \mathit{NCab4SupC2Vj} \times 1.270 + \mathit{NCab5SupC2Vj} \times 1.588 \\
 &+ \mathit{NCab6SupC2Vj} \times 1.905 + \mathit{NCab7SupC2Vj} \times 2.222 \\
 &+ \mathit{NCab8SupC2Vj} \times 2.540 + \mathit{NCab11SupC2Vj} \times 3.581 \} \\
 &+ \{ 2.5 \times (\mathit{NCabSup2Vj} - 1) \}
 \end{aligned} \tag{4.14}$$

**$BAsSupC2V_j$** : Ancho ocupado por las cabillas de acero corrido superior en la capa 2 de la viga del nivel j.

Se debe verificar que:

$$BAsSupC2Vj \leq (BV_{ij}, BV_{i+1j}, \dots, BV_{nj}) \quad (4.15)$$

Con esta operación se tiene el valor de la variable **AsColSupC2Vj**.

Finalmente:

$$AsColSupVj = AsColSupC1Vj + AsColSupC2Vj \quad (4.16)$$

**AsColSupVj**: Área de acero corrido superior para toda la viga del nivel j.

9. La misma operación se realiza para el acero corrido inferior. En la que se presenta la ventana como se muestra en la Figura 20 para ingresar las cabillas que conformarán el acero corrido inferior a lo largo de toda la viga.

The screenshot shows a software window titled "ACERO CORRIDO INFERIOR" with a standard Windows-style title bar. The window contains the following elements:

- Table 1 (Top Right):** A 2x2 table with columns "As REQUERIDO" and "As COLOCADO".
- Table 2 (Middle Left):** A table for selecting rebar diameters and their placement in two layers.
 

DIÁMETRO	CAPA 1	CAPA 2
1/2"		
5/8"		
3/4"		
7/8"		
1"		
1 3/8"		
- Diagram (Middle Right):** A diagram titled "CONTROL DE ORDEN DE CABILLAS - DESPLAZABLE" showing two rows of rebar. The top row is labeled "Capa 2" and contains four red dots. The bottom row is labeled "Capa 1" and contains four green dots. A line points from the diagram to the "CONTROL DE ORDEN DE CABILLAS - DESPLAZABLE" text.
- Checkmark (Bottom Middle):** A box containing the text "Separación entre barras" and a green checkmark.
- Buttons (Bottom):** Two buttons labeled "ATRÁS" and "ACEPTAR".

Figura 20. Ventana para ingresar las cabillas que conforman el área de acero corrido inferior.

***NCab4InfC1Vj***: Número de cabillas de 1/2" en la capa 1.

***NCab5InfC1Vj***: Número de cabillas de 5/8" en la capa 1.

***NCab6InfC1Vj***: Número de cabillas de 3/4" en la capa 1.

***NCab7InfC1Vj***: Número de cabillas de 7/8" en la capa 1.

***NCab8InfC1Vj***: Número de cabillas de 1" en la capa 1.

***NCab11InfC1Vj***: Número de cabillas de 1 3/8" en la capa 1.

Se calcula:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{NCabInfC1Vj} \\
 & = \mathbf{NCab4InfC1Vj} + \mathbf{NCab5InfC1Vj} + \mathbf{NCab6InfC1Vj} \\
 & \quad + \mathbf{NCab7InfC1Vj} + \mathbf{NCab8InfC1Vj} + \mathbf{NCab11InfC1Vj}
 \end{aligned} \tag{4.17}$$

***NCabInfC1Vj***: Número de cabillas de acero corrido inferior en la capa 1 del nivel *j*.

Para la segunda capa:

***NCab4InfC2Vj***: Número de cabillas de 1/2" en la capa 2.

***NCab5InfC2Vj***: Número de cabillas de 5/8" en la capa 2.

***NCab6InfC2Vj***: Número de cabillas de 3/4" en la capa 2.

***NCab7InfC2Vj***: Número de cabillas de 7/8" en la capa 2.

***NCab8InfC2Vj***: Número de cabillas de 1" en la capa 2.

***NCab11InfC2Vj***: Número de cabillas de 1 3/8" en la capa 2.

Para luego calcular:

**$NCabInfC2Vj$**

$$= NCab4InfC2Vj + NCab5InfC2Vj + NCab6InfC2Vj + NCab7InfC2Vj + NCab8InfC2Vj + NCab11InfC2Vj \quad (4.18)$$

**$NCabInfC2Vj$** : Número de cabillas de acero corrido inferior en la capa 2 del nivel  $j$ .

**$BAsInf1CVj$**

$$= (2 \times Rec) + \{NCab4InfC1Vj \times 1.270 + NCab5InfC1Vj \times 1.588 + NCab6InfC1Vj \times 1.905 + NCab7InfC1Vj \times 2.222 + NCab8InfC1Vj \times 2.540 + NCab11InfC1Vj \times 3.581\} + \{2.5 \times (NCabInf1Vj - 1)\} \quad (4.19)$$

**$BAsInfC1Vj$** : Ancho ocupado por las cabillas de acero corrido inferior en la capa 1 de la viga del nivel  $j$ .

Se debe verificar que:

$$BAsInfC1Vj \leq (BV_{ij}, BV_{i+1j}, \dots, BV_{nj}) \quad (4.20)$$

Con esta operación se tiene el valor de la variable  **$AsCollInfC1Vj$** .

$$\begin{aligned}
\mathbf{BAsInfC2Vj} &= (2 \times \mathit{Rec}) \\
&+ \{\mathit{NCab4InfC2Vj} \times 1.270 + \mathit{NCab5InfC2Vj} \times 1.588 \\
&+ \mathit{NCab6InfC2Vj} \times 1.905 + \mathit{NCab7InfC2Vj} \times 2.222 \\
&+ \mathit{NCab8InfC2Vj} \times 2.540 + \mathit{NCab11InfC2Vj} \times 3.581\} \\
&+ \{2.5 \times (\mathit{NCabInf2Vj} - 1)\}
\end{aligned} \tag{4.21}$$

**$\mathbf{BAsInfC2Vj}$** : Ancho ocupado por las cabillas de acero corrido inferior en la capa 2 de la viga del nivel j.

Se debe verificar que:

$$\mathbf{BAsInfC2Vj} \leq (\mathbf{BV}_{ij}, \mathbf{BV}_{i+1j}, \dots, \mathbf{BV}_{nj}) \tag{4.22}$$

Con esta operación se tiene el valor de la variable  **$\mathbf{AsColInfC2Vj}$** .

Finalmente:

$$\mathbf{AsColInfVj} = \mathbf{AsColInfC1Vj} + \mathbf{AsColInfC2Vj} \tag{4.23}$$

**$\mathbf{AsColInfVj}$** : Área de acero corrido inferior para toda la viga.

10. Se calculan el acero adicional de refuerzo en cada uno de los tramos. Para esto se necesita calcular la diferencia entre el acero requerido y el acero colocado en cada locación del tramo de la viga donde se tiene información.

Primero se leen las locaciones en cada tramo de la viga:

**$\mathbf{L_iV_{ij}}$** : Locación en donde se leerá el acero requerido en la viga y tramo estudiado, donde i indica el número de locación.

Luego se lee el acero requerido superior en la locación indicada y se compara con el colocado.

**$AsSupL_iV_{ij}$** : área de acero requerida superior en la locación  $L_iV_{ij}$ .

Se define la variable  **$AsAdSupL_iV_{ij}$** , que es el acero adicional que se necesita para cumplir con el requerido en la locación estudiada y se calcula de la forma siguiente:

$$AsAdSupL_iV_{ij} = AsSupL_iV_{ij} - AsColSupV_{ij} \quad (4.24)$$

11. El procedimiento anterior se debe realizar para todas las locaciones en todos los tramos de la viga. Cuando  $AsAdSupL_iV_{ij} \leq 0$  significa que la viga no necesita refuerzo adicional. En las locaciones donde  $AsAdSupL_iV_{ij} > 0$  se necesita acero adicional.
12. El mismo procedimiento se realiza para el acero inferior, leyendo la variable  **$AsInfL_iV_{ij}$** . Luego se define y se calcula  **$AsAdInfL_iV_{ij}$**  para verificar si se necesita o no acero adicional inferior.
13. Para definir el acero adicional inferior se tomará el mayor  $AsAdInfL_iV_{ij}$  de cada tramo y así elegir la combinación de cabillas más adecuada, obteniendo  **$AsAdInfV_{ij}$**  de ser un valor negativo se definirá como cero.
14. Para el área de acero adicional superior se debe tomar el mayor en la cara de los apoyos, por lo que se obtendrá un refuerzo adicional para el extremo derecho y otro para el extremo izquierdo de la viga, de ser negativo se definirá como cero.

$$AsAdSupIzqV_{ij} = Max\{AsAdSupL_nV_{i-1,j} ; AsAdSupL_1V_{ij}\} \quad (4.25)$$

$$AsAdSupDerV_{ij} = Max\{AsAdSupL_n V_{ij} ; AsAdSupL_1 V_{i+1,j}\} \quad (4.26)$$

15. Se verifica nuevamente si la combinación de cabillas es adecuada para las dimensiones de la viga, por lo que se realizan nuevamente los cálculos descritos en el paso N°9. Donde en la sección que amerita más acero de refuerzo adicional inferior de la viga  $V_{ij}$  se realizará esta operación, para el acero de refuerzo adicional superior se realizará en los extremos de la viga  $V_{ij}$ .

Entonces se obtendrá el valor de las siguientes variables:

**$NCabAd4SupIzqC1V_{ij}$** : Número de cabillas adicionales superiores de 1/2" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

**$NCabAd5SupIzqC1V_{ij}$** : Número de cabillas adicionales superiores de 5/8" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

**$NCabAd6SupIzqC1V_{ij}$** : Número de cabillas adicionales superiores de 3/4" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

**$NCabAd7SupIzqC1V_{ij}$** : Número de cabillas adicionales superiores de 7/8" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

**$NCabAd8SupIzqC1V_{ij}$** : Número de cabillas adicionales superiores de 1" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

**$NCabAd11SupIzqC1V_{ij}$** : Número de cabillas adicionales superiores de 1 3/8" en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

Para luego calcular:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{NCabAdSupIzqC1Vij} \\
 & = \text{NCabAd4SupIzqC1Vij} + \text{NCabAd5SupIzqC1Vij} \\
 & + \text{NCabAd6SupIzqC1Vij} + \text{NCabAd7SupIzqC1Vij} \quad (4.27) \\
 & + \text{NCabAd8SupIzqC1Vij} + \text{NCabAd11SupIzqC1Vij}
 \end{aligned}$$

**NCabAdSupIzqC1Vij:** Número de cabillas de acero adicionales superiores en la capa 1 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

Se lee para la segunda capa:

**NCabAd4SupIzqC2Vij:** Número de cabillas adicionales de 1/2" en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

**NCabAd5SupIzqC2Vij:** Número de cabillas adicionales de 5/8" en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

**NCabAd6SupIzqC2Vij:** Número de cabillas adicionales de 3/4" en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

**NCabAd7SupIzqC2Vij:** Número de cabillas adicionales de 7/8" en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

**NCabAd8SupIzqC2Vij:** Número de cabillas adicionales de 1" en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

**NCabAd11SupIzqC2Vij:** Número de cabillas adicionales de 1 3/8" en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

Para luego calcular:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{NCabAdSupIzqC2V_{ij}} \\
 & = \text{NCabAd4SupC2V}_{j} + \text{NCabAd5SupC2V}_{j} \\
 & + \text{NCabAd6SupC2V}_{j} + \text{NCabAd7SupC2V}_{j} \quad (4.28) \\
 & + \text{NCabAd8SupC2V}_{j} + \text{NCabAd11SupC2V}_{j}
 \end{aligned}$$

**$NCabAdSupIzqC2V_{ij}$** : Número de cabillas de acero adicionales superiores en la capa 2 del apoyo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

**$NCabAd4SupDerC1V_{ij}$** : Número de cabillas adicionales superiores de 1/2" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

**$NCabAd5SupDerC1V_{ij}$** : Número de cabillas adicionales superiores de 5/8" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

**$NCabAd6SupDerC1V_{ij}$** : Número de cabillas adicionales superiores de 3/4" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

**$NCabAd7SupDerC1V_{ij}$** : Número de cabillas adicionales superiores de 7/8" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

**$NCabAd8SupDerC1V_{ij}$** : Número de cabillas adicionales superiores de 1" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

**$NCabAd11SupDerC1V_{ij}$** : Número de cabillas adicionales superiores de 1 3/8" en la capa 1 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

Para luego calcular:

***NCabAdSupDerC1Vij***

$$\begin{aligned}
 &= \text{NCabAd4SupDerC1Vij} + \text{NCabAd5SupDerC1Vij} \\
 &+ \text{NCabAd6SupDerC1Vij} + \text{NCabAd7SupDerC1Vij} \quad (4.29) \\
 &+ \text{NCabAd8SupDerC1Vij} + \text{NCabAd11SupDerC1Vij}
 \end{aligned}$$

***NCabAdSupDerC1Vij***: Número de cabillas de acero adicionales superiores en la capa 1 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

***NCabAd4SupDerC2Vij***: Número de cabillas adicionales superiores de 1/2" en la capa 2 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

***NCabAd5SupDerC2Vij***: Número de cabillas adicionales superiores de 5/8" en la capa 2 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

***NCabAd6SupDerC2Vij***: Número de cabillas adicionales superiores de 3/4" en la capa 2 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

***NCabAd7SupDerC2Vij***: Número de cabillas adicionales superiores de 7/8" en la capa 2 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

***NCabAd8SupDerC2Vij***: Número de cabillas adicionales superiores de 1" en la capa 2 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

***NCabAd11SupDerC2Vij***: Número de cabillas adicionales superiores de 1 3/8" en la capa 2 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

Para luego calcular:

***NCabAdSupDerC2Vij***

$$\begin{aligned}
 &= \text{NCabAd4SupDerC2Vij} + \text{NCabAd5SupDerC2Vij} \\
 &+ \text{NCabAd6SupDerC2Vij} + \text{NCabAd7SupDerC2Vij} \quad (4.30) \\
 &+ \text{NCabAd8SupDerC2Vij} + \text{NCabAd11SupDerC2Vij}
 \end{aligned}$$

***NCabAdSupDerC2Vij***: Número de cabillas de acero adicionales superiores en la capa 2 del apoyo derecho de la viga  $V_{ij}$ .

Para chequear si la combinación de cabillas escogida es adecuada para el tamaño de la sección y tomando en cuenta el recubrimiento y espacio normativo entre cabillas se tiene:

***BAsTSupIzqC1Vij***

$$\begin{aligned}
 &= (2 \times \text{Rec}) \\
 &+ \{(\text{NCab4SupC1Vj} + \text{NCabAd4SupIzqC1Vij}) \times 1.270 \\
 &+ (\text{NCab5SupC1Vj} + \text{NCabAd5SupIzqC1Vij}) \times 1.588 \\
 &+ (\text{NCab6SupC1Vj} + \text{NCabAd6SupIzqC1Vij}) \times 1.905 \\
 &+ (\text{NCab7SupC1Vj} + \text{NCabAd7SupIzqC1Vij}) \times 2.222 \quad (4.31) \\
 &+ (\text{NCab8SupC1Vj} + \text{NCabAd8SupIzqC1Vij}) \times 2.540 \\
 &+ (\text{NCab11SupC1Vj} + \text{NCabAd11SupIzqC1Vij}) \times 3.581\} \\
 &+ \{2.5 \times ((\text{NCabSup1Vj} + \text{NCabAdSupIzq1Vj}) - 1)\}
 \end{aligned}$$

***BAsTSupIzqC1Vij***: Ancho ocupado por las cabillas de acero total en la capa 1 del extremo izquierdo de la viga  $V_{ij}$ .

Se debe verificar que:

$$BASTSupIzqC1V_{ij} \leq BV_{ij} \quad (4.32)$$

$$AsTSupIzqC1V_{ij} = AsColSupC1V_j + AsAdSupIzqC1V_{ij} \quad (4.33)$$

Con esta operación se tiene el valor de la variable ***AsTSupIzqC1V<sub>ij</sub>***.

### ***BASTSupIzqC2V<sub>ij</sub>***

$$\begin{aligned} &= (2 \times Rec) \\ &+ \{(NCab4SupC2V_j + NCabAd4SupIzqC2V_{ij}) \times 1.270 \\ &+ (NCab5SupC2V_j + NCabAd5SupIzqC2V_{ij}) \times 1.588 \\ &+ (NCab6SupC2V_j + NCabAd6SupIzqC2V_{ij}) \times 1.905 \\ &+ (NCab7SupC2V_j + NCabAd7SupIzqC2V_{ij}) \times 2.222 \\ &+ (NCab8SupC2V_j + NCabAd8SupIzqC2V_{ij}) \times 2.540 \\ &+ (NCab11SupC2V_j + NCabAd11SupIzqC2V_{ij}) \times 3.581\} \\ &+ \{2.5 \times ((NCabSup2V_j + NCabAdSupIzqC2V_{ij}) - 1)\} \end{aligned} \quad (4.34)$$

***BASTSupIzqC2V<sub>ij</sub>***: Ancho ocupado por las cabillas de acero total en la capa 2 del extremo izquierdo de la viga *V<sub>ij</sub>*.

Se debe verificar que:

$$BASTSupIzqC2V_{ij} \leq BV_{ij} \quad (4.35)$$

$$AsTSupIzqC2V_{ij} = AsColSupC2V_j + AsAdSupIzqC2V_{ij} \quad (4.36)$$

Con esta operación se tiene el valor de la variable ***AsTSupIzqC2V<sub>ij</sub>***.

Finalmente:

$$AsTSupIzqVij = AsTSupC1Vij + AsTSupC2Vij \quad (4.37)$$

### ***BAsTSupDerC1Vij***

$$\begin{aligned} &= (2 \times Rec) \\ &+ \{(NCab4SupC1Vj + NCabAd4SupDerC1Vij) \times 1.270 \\ &+ (NCab5SupC1Vj + NCabAd5SupDerC1Vij) \times 1.588 \\ &+ (NCab6SupC1Vj + NCabAd6SupDerC1Vij) \times 1.905 \\ &+ (NCab7SupC1Vj + NCabAd7SupDerC1Vij) \times 2.222 \\ &+ (NCab8SupC1Vj + NCabAd8SupDerC1Vij) \times 2.540 \\ &+ (NCab11SupC1Vj + NCabAd11SupDerC1Vij) \times 3.581\} \\ &+ \{2.5 \times ((NCabSup1Vj + NCabAdSupDerC1Vj) - 1)\} \end{aligned} \quad (4.38)$$

**BAsTSupDerC1Vij:** Ancho ocupado por las cabillas de acero total en la capa 1 de la viga *Vij*.

Se debe verificar que:

$$BAsTSupDerC1Vij \leq BV_{ij} \quad (4.39)$$

$$AsTSupDerC1V_{ij} = AsColSupC1V_j + AsAdSupDerC1V_{ij}$$

Con esta operación se tiene el valor de la variable ***AsTSupDerC1V<sub>ij</sub>***.

**$BASTSupDerC2Vij$** 

$$\begin{aligned}
&= (2 \times Rec) \\
&+ \{(NCab4SupC2Vj + NCabAd4SupDerC2Vij) \times 1.270 \\
&+ (NCab5SupC2Vj + NCabAd5SupDerC2Vij) \times 1.588 \\
&+ (NCab6SupC2Vj + NCabAd6SupDerC2Vij) \times 1.905 \\
&+ (NCab7SupC2Vj + NCabAd7SupDerC2Vij) \times 2.222 \\
&+ (NCab8SupC2Vj + NCabAd8SupDerC2Vij) \times 2.540 \\
&+ (NCab11SupC2Vj + NCabAd11SupDerC2Vij) \times 3.581\} \\
&+ \{2.5 \times ((NCabSup2Vj + NCabAdSupDerC2Vj) - 1)\}
\end{aligned} \tag{4.40}$$

**$BASTSupDerC2Vij$** : Ancho ocupado por las cabillas de acero total en la capa 2 de la viga  $Vij$ .

Se debe verificar que:

$$BASTSupDerC2Vij \leq BVij \tag{4.41}$$

$$AsTSupDerC2Vij = AsColSupC2Vj + AsAdSupDerC2Vij \tag{4.42}$$

Con esta operación se tiene el valor de la variable  **$AsTSupDerC2Vij$** .

Finalmente:

$$AsTSupDerVij = AsTSupDerC1Vij + AsTSupDerC2Vij \tag{4.43}$$

La misma operación se realiza para el acero inferior de la viga  $Vij$ .

16. Luego se procede a calcular los valores máximos y mínimos permitidos para la cuantía.

$$P_{min} = \frac{14}{F_y} \quad (4.44)$$

**Pmax**

Estos valores son constantes para todos los tramos de la viga.

17. El cálculo de la cuantía real **P** se realiza en cada tramo, tanto para el lecho superior como el inferior. Se necesita calcular la cantidad de acero total colocada por tramo, entonces:

$$P_{SupVij} = \frac{Max \{AsT_{SupIzqVij} ; AsT_{SupDerVij}\}}{BVij \times (HVij - Rec)} \quad (4.45)$$

$$P_{InfVij} = \frac{AsT_{InfVij}}{BVij \times (HVij - Rec)} \quad (4.46)$$

Se verifica que:

$$P_{min} \leq P_{SupVij} \leq P_{max}$$

$$P_{min} \leq P_{InfVij} \leq P_{max}$$

18. Se calculan las longitudes de los ganchos a utilizar, para ello primero se determina el diámetro máximo de cabilla colocado en cada viga.

$$Db_{SupV_{ij}} = Max\{Diámetro\ cabilla\ superior\ viga\ V_{ij}\} \quad (4.47)$$

$$Db_{InfV_{ij}} = Max\{Diámetro\ cabilla\ inferior\ viga\ V_{ij}\} \quad (4.48)$$

$$Ganchol_{zqSupV_j} = 12 \times Db_{SupV_{1j}} \quad (4.49)$$

$$\mathbf{GanchoIzqInfV}_j = 12 \times \mathbf{DbInfV}_{1j} \quad (4.50)$$

$$\mathbf{GanchoDerSupV}_j = 12 \times \mathbf{DbSupV}_{nj} \quad (4.51)$$

$$\mathbf{GanchoDerInfV}_j = 12 \times \mathbf{DbInfV}_{nj} \quad (4.52)$$

19. Si la viga representa un volado se debe chequear la longitud del gancho.

Si  $BC_{1j} = 0$  entonces:

$$\mathbf{GanchoSupIzqV}_j \leq \mathbf{HV}_{1j} - 2\mathbf{Rec} \quad (4.53)$$

$$\mathbf{GanchoInfIzqV}_j \leq \mathbf{HV}_{1j} - 2\mathbf{Rec} \quad (4.54)$$

Si  $BC_{nj} = 0$  entonces:

$$\mathbf{GanchoSupDerV}_j \leq \mathbf{HV}_{nj} - 2\mathbf{Rec} \quad (4.55)$$

$$\mathbf{GanchoInfDerV}_j \leq \mathbf{HV}_{nj} - 2\mathbf{Rec} \quad (4.56)$$

20. Se procede a calcular la longitud de anclaje y se chequea con la longitud disponible de la columna.

Si  $BC_{1j} \neq 0$  entonces:

$$\mathbf{LdhSupIzqV}_j = \mathbf{Max} \left\{ 8 \times \mathbf{DbSupV}_{1j}; \frac{\mathbf{DbSupV}_{1j} \times \mathbf{Fy}}{17.2 \times \sqrt{\mathbf{Fc}}}; 15 \right\} \quad (4.57)$$

$$\mathbf{LdhInfIzqV}_j = \mathbf{Max} \left\{ 8 \times \mathbf{DbInfV}_{1j}; \frac{\mathbf{DbInfV}_{1j} \times \mathbf{Fy}}{17.2 \times \sqrt{\mathbf{Fc}}}; 15 \right\} \quad (4.58)$$

$$\mathbf{LdisIzqV}_j = \mathbf{BCV}_{1j} - \mathbf{Rec} \quad (4.59)$$

Se verifica que:

$$LdispIzqV_j \geq (LdhSupIzqV_j ; LdhInfIzqV_j) \quad (4.60)$$

Si  $BC_{nj} \neq 0$  entonces:

$$LdhSupDerV_j = Max \left\{ 8 \times DbSupV_{nj} ; \frac{DbSupV_{nj} \times Fy}{17.2 \times \sqrt{Fc}} ; 15 \right\} \quad (4.61)$$

$$LdhInfDerV_j = Max \left\{ 8 \times DbInfV_j ; \frac{DbInfV_{nj} \times Fy}{17.2 \times \sqrt{Fc}} ; 15 \right\} \quad (4.62)$$

$$LdisDerV_j = BC_{nj} - Rec \quad (4.63)$$

Se verifica que:

$$LdispDerV_j \geq (LdhSupDerV_j ; LdhInfDerV_j) \quad (4.64)$$

21. Si hay un cambio en la altura de la viga se debe chequear la longitud disponible para las cabillas del lecho inferior en la columna.

Para un cambio de sección en el extremo izquierdo del tramo de la viga, se procede de la siguiente manera:

Se debe verificar si:

$$HV_{i-1,j} \neq HV_{ij} \quad (4.65)$$

Se calcula la longitud de anclaje para el acero inferior.

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{LdhInfDerV}_{i-1,j} \\
 & = \text{Max} \left\{ 8 \times \text{DbInf}V_{i-1,j} ; \frac{\text{DbInf}V_{i-1,j} \times Fy}{17.2 \times \sqrt{Fc}} ; 15 \right\} \quad (4.66)
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{LdisDerV}_{ij} = BC_{ij} - Rec \quad (4.67)$$

Se comprueba que:

$$\mathbf{LdhInfDerV}_{ij} \leq \mathbf{LdisDerV}_{ij} \quad (4.68)$$

$$\mathbf{LdhInfIzqV}_{ij} = \text{Max} \left\{ 8 \times \text{DbInf}V_{ij} ; \frac{\text{DbInf}V_{ij} \times Fy}{17.2 \times \sqrt{Fc}} ; 15 \right\} \quad (4.69)$$

$$\mathbf{LdisIzqV}_{ij} = BC_{ij} - Rec \quad (4.70)$$

Se comprueba que:

$$\mathbf{LdhInfIzqV}_{ij} \leq \mathbf{LdisIzqV}_{ij} \quad (4.71)$$

22. Se determina la longitud de confinamiento para cada una de los tramos de la viga:

$$\mathbf{LnV}_{ij} = L_{ij} \times 100 - (\text{DDEIV}_{ij} + \text{DIEDV}_{ij}) \quad (4.72)$$

Si  $\text{LnV}_{ij}/\text{HV}_{ij} \leq 4$ , entonces:

$$\mathbf{LcfV}_{ij} = \text{HV}_{ij} \quad (4.73)$$

Si  $4 < \ln V_{ij}/HV_{ij} \leq 10$ , entonces:

$$LcfV_{ij} = \frac{HV_{ij}}{6} \times \left( \frac{\ln V_{ij}}{HV_{ij}} + 2 \right) \quad (4.74)$$

Si  $\ln V_{ij}/HV_{ij} > 10$ , entonces:

$$LcfV_{ij} = 2 \times HV_{ij} \quad (4.75)$$

23. Se calculan las longitudes de desarrollo de cada una de las cabillas de la viga:

Para las longitudes de desarrollo de las cabillas del lecho superior se realiza el siguiente procedimiento:

Se determina la altura máxima de la viga  $V_j$ :

$$MaxHV_j = Max\{HV_{ij}, HV_{i+1,j}, \dots, HV_{nj}\} \quad (4.76)$$

Si se cumple que:

$$MaxHV_j - Rec \geq 30 \quad (4.77)$$

Entonces:

$$LdesSup4V_j = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1.3 \times 1 \times 0.8 \times 1}{\frac{2.5}{1.27}} \right] \times 1.27 ; 30 \right\} \quad (4.78)$$

$$LdesSup5V_j = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1.3 \times 1 \times 0.8 \times 1}{\frac{2.5}{1.588}} \right] \times 1.588 ; 30 \right\} \quad (4.79)$$

$$LdesSup6V_j = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1.3 \times 1 \times 0.8 \times 1}{\frac{2.5}{1.905}} \right] \times 1.905 ; 30 \right\} \quad (4.80)$$

$$LdesSup7V_j = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1.3 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2.5}{2.222}} \right] \times 2.222 ; 30 \right\} \quad (4.81)$$

$$LdesSup8V_j = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1.3 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2.5}{2.540}} \right] \times 2.540 ; 30 \right\} \quad (4.82)$$

$$LdesSup11V_j = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1.3 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2.5}{3.581}} \right] \times 3.581 ; 30 \right\} \quad (4.83)$$

Sino:

$$LdesSup4V_j = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 0.8 \times 1}{\frac{2.5}{1.27}} \right] \times 1.27 ; 30 \right\} \quad (4.84)$$

$$LdesSup5V_j = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 0.8 \times 1}{\frac{2.5}{1.588}} \right] \times 1.588 ; 30 \right\} \quad (4.85)$$

$$LdesSup6V_j = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 0.8 \times 1}{\frac{2.5}{1.905}} \right] \times 1.905 ; 30 \right\} \quad (4.86)$$

$$LdesSup7V_j = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2.5}{2.222}} \right] \times 2.222 ; 30 \right\} \quad (4.87)$$

$$LdesSup8V_j = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2.5}{2.540}} \right] \times 2.540 ; 30 \right\} \quad (4.88)$$

$$LdesSup11V_j = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2.5}{3.581}} \right] \times 3.581 ; 30 \right\} \quad (4.89)$$

Para las cabillas del lecho inferior se calculan las longitudes de desarrollo de la siguiente manera:

$$LdesInf4 = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 0.8 \times 1}{\frac{2.5}{1.27}} \right] \times 1.27 ; 30 \right\} \quad (4.90)$$

$$LdesInf5 = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 0.8 \times 1}{\frac{2.5}{1.588}} \right] \times 1.588 ; 30 \right\} \quad (4.91)$$

$$LdesInf6 = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 0.8 \times 1}{\frac{2.5}{1.905}} \right] \times 1.905 ; 30 \right\} \quad (4.92)$$

$$LdesInf7 = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2.5}{2.222}} \right] \times 2.222 ; 30 \right\} \quad (4.93)$$

$$LdesInf8 = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2.5}{2.540}} \right] \times 2.540 ; 30 \right\} \quad (4.94)$$

$$LdesInf11 = Max \left\{ \left( \frac{0.283 \times Fy}{\sqrt{Fc}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2.5}{3.581}} \right] \times 3.581 ; 30 \right\} \quad (4.95)$$

24. Se debe calcular la distancia "d" que se extiende la cabilla de refuerzo luego de la última sección en que se necesita. Para ello se toma la máxima cabilla de refuerzo tanto inferior como superior de la viga  $V_{ij}$ .

$$\begin{aligned} & \mathbf{DbAdSupV_{ij}} \\ & = Max \{ \text{Diámetro cabilla de refuerzo superior viga } V_{ij} \} \end{aligned} \quad (4.96)$$

$$DbAdInfV_{ij} = \text{Max}\{\text{Diámetro cabilla de refuerzo inferior viga } V_{ij}\} \quad (4.97)$$

Entonces la distancia  $d$  será la siguiente:

$$dSupV_{ij} = \text{Max}\{12 \times DbAdSupV_{ij}; (HV_{ij} - Rec)\} \quad (4.98)$$

$$dInfV_{ij} = \text{Max}\{12 \times DbAdInfV_{ij}; (HV_{ij} - Rec)\} \quad (4.99)$$

25. Para el dibujo automático de las barras de acero corrido se realizará una iteración que consistirá en lo siguiente:

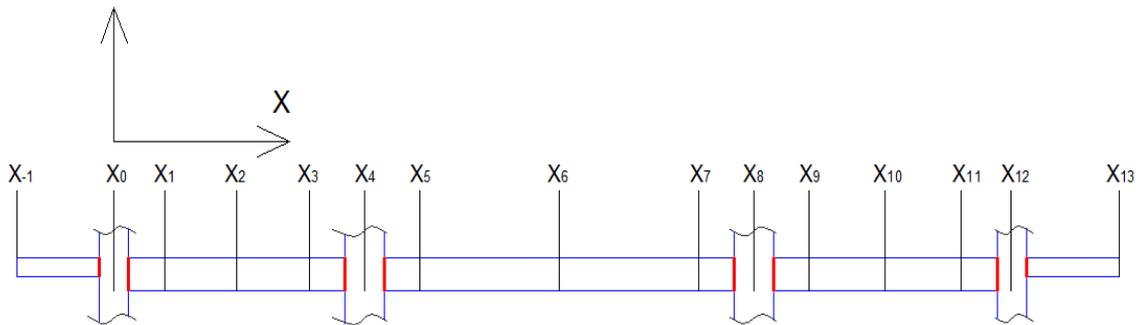


Figura 21. **Ubicación de coordenadas en la viga calculadas mediante el proceso iterativo, para la realización de empalmes**

25.1. Se calculará los lugares de interés para los empalmes en las vigas, donde se tiene un eje coordinado que empieza en el primer eje del pórtico, y los demás valores son para los puntos medios de los tramos y la longitud de confinamiento, así como los demás ejes.

Si  $BC_{1j} \neq 0$ , entonces:

$$X_{-1} = -\frac{(BC_{1j} - DDEIV_{1j} - Rec)}{100}$$

$$HX_{-1} = HV_{1j}$$

$$X_0 = 0$$

$$X_1 = X_0 + \frac{(DDEIV_{1j} + LcfV_{1j})}{100}$$

$$HX_1 = HV_{1j}$$

$$X_2 = X_0 + \frac{L_{1j}}{2}$$

$$X_3 = X_0 + L_{1j} - \frac{DIEDV_{1j} + LcfV_{1j}}{100}$$

$$HX_3 = HV_{1j}$$

$$X_4 = X_0 + L_{1j}$$

$$X_5 = X_4 + \frac{(DDEIV_{2j} + LcfV_{2j})}{100}$$

$$HX_5 = HV_{2j}$$

$$X_6 = X_4 + \frac{L_{2j}}{2}$$

$$X_7 = X_4 + L_{2j} - \frac{DIEDV_{2j} + LcfV_{2j}}{100}$$

$$HX_7 = HV_{2j}$$

$$X_8 = X_4 + L_{2j}$$

Sino:

$$X_{-1} = -\left(LV_{1j} - \frac{Rec}{100}\right)$$

$$HX_{-1} = HV_{1j}$$

$$X_0 = 0$$

$$X_1 = X_0 + \frac{(DDEIV_{2j} + LcfV_{2j})}{100}$$

$$HX_1 = HV_{2j}$$

$$X_2 = X_0 + \frac{L_{2j}}{2}$$

$$X_3 = X_0 + L_{2j} - \frac{DIEDV_{2j} + LcfV_{2j}}{100}$$

$$HX_3 = HV_{2j}$$

$$X_4 = X_0 + L_{2j}$$

$$X_5 = X_4 + \frac{(DDEIV_{3j} + LcfV_{3j})}{100}$$

$$HX_5 = HV_{3j}$$

$$X_6 = X_4 + \frac{L_{3j}}{2}$$

$$X_7 = X_4 + L_{3j} - \frac{DIEDV_{3j} + LcfV_{3j}}{100}$$

$$HX_7 = HV_{3j}$$

$$X_8 = X_4 + L_{3j}$$

Y así sucesivamente con todos los tramos de la viga.

## 25.2. Acero corrido superior:

Luego se toma en cuenta la longitud  $GancholzqSupV_j$  y entonces la longitud de cabilla desde el gancho hasta  $X_0$  será:

$$Lc_1 = \frac{GancholzqSupV_j}{100} - X_{-1}$$

Se toma ahora la longitud que tendría la cabilla hasta la mitad entre los primeros ejes ( $X_2$ ), lugar donde se realizan los empalmes del acero superior:

$$Lc_2 = Lc_1 + (X_2 - X_0)$$

Si esta longitud es menor a 12 metros se procede a evaluar si se puede realizar el empalme en el próximo tramo de la viga en  $X_6$

$$Lc_3 = Lc_2 + (X_6 - X_2)$$

Si  $Lc_3$  es menor a 12 metros se procede a evaluar si se puede realizar el empalme en el próximo tramo de la viga ( $X_{10}$ ), de lo contrario se realizará el empalme de las cabillas en  $X_6$ .

Se tienen dos opciones de empalme entonces:

Si

$$Lc_2 + \frac{LdesSup_{cabilla}}{100} \leq 12$$

La longitud de las cabillas en estudio será

$$LongC1 = Lc_2 + \frac{LdesSup_{cabilla}}{100}$$

Y la cabilla siguiente comenzará en

$$X_{inicial} = X_6$$

Sino

$$LongC1 = Lc_2$$

Y la cabilla siguiente comenzará en:

$$X_{inicial} = X_6 - \frac{LdesSup_{cabilla}}{100}$$

Para ello entonces tenemos que la longitud de la primera cabilla será  $Lc_2$ . Se debe realizar el mismo procedimiento hasta realizar los empalmes necesarios de las cabillas. Para el último tramo sería:

$$Lc_n = Lc_{n-1} + (X_n - X_{n-1}) + \frac{GanchoDerSupV_j}{100}$$

## 25.3. Acero corrido inferior:

Si se cumple que  $HX_n = HX_{n+2}$ . Se comienza determinando la longitud de la cabilla hasta  $X_0$ :

$$Lc_1 = \frac{-X_{-1} + GancholzqInfV_j}{100}$$

Luego se calcula la longitud de la cabilla hasta los puntos posibles de empalme  $X_1, X_3, X_5, X_7$ , etc.

La longitud de la cabilla para el punto de empalme  $X_1$  sería

$$Lc_2 = Lc_1 + (X_1 - X_0)$$

Si  $Lc_2 < 12$  y  $HX_1 = HX_3$  entonces se procede a chequear el siguiente punto de empalme y así sucesivamente:

$$Lc_3 = Lc_2 + (X_3 - X_1)$$

$$Lc_4 = Lc_3 + (X_5 - X_3)$$

$$Lc_5 = Lc_4 + (X_7 - X_5)$$

Si  $Lc_5$  por ejemplo, es mayor que 12 entonces se procede a realizar el empalme en el punto final de  $Lc_4$  es decir  $X_5$ .

Si

$$Lc_4 + \frac{LdesInf_{cabilla}}{100} \leq 12$$

La longitud de cabillas en estudio será

$$LongC1 = Lc_4 + \frac{LdesInf_{cabilla}}{100}$$

Y la cabilla siguiente comenzará en

$$X_{inicial} = X_5$$

Sino el lugar de empalme debe ser en la locación anterior:

$$LongC1 = Lc_3$$

Y la cabilla siguiente comenzará en:

$$X_{inicial} = X_3 - \frac{LdesSup_{cabilla}}{100}$$

Se debe realizar el mismo procedimiento hasta realizar los empalmes necesarios de las cabillas del acero corrido inferior. Para el último tramo sería:

$$Lc_n = Lc_{n-1} + (X_n - X_{n-1}) + \frac{GanchoDerInfV_j}{100}$$

Donde se tenga que  $HX_i \neq HX_{i+2}$

$$Lc_n = Lc_{n-1} + \frac{DIEDV_{ij} - Rec}{100} + \frac{12 \times DbInfV_{ij}}{100}$$

Si  $Lc_n < 12$

$$LongC_iInf = Lc_{n-1} + \frac{DIEDV_{ij} - Rec}{100} + \frac{12 \times DbInfV_{ij}}{100}$$

Y la cabilla siguiente comenzará en:

$$X_{inicial} = X_{i+2} - \frac{DDEIV_{i+1,j} - Rec}{100}$$

Y por consiguiente:

$$Lc_1 = (X_{i+2} - X_{inicial}) + \frac{12 \times DbInfV_{i+1,j}}{100}$$

Y se continúa de nuevo el procedimiento del paso 26.3 hasta realizar el armado de toda la viga.

26. Para el cálculo de los estribos en la zona de confinamiento se realiza lo siguiente:

26.1. Para determinar el corte isostático a partir de las tablas importadas se realiza el paso siguiente:

Se leen las variables de acero de corte entre separación suministradas en las tablas en las caras de la viga.

**AsVlzqV<sub>ij</sub>**: Área de acero de corte entre separación de la cara izquierda de la viga  $V_{ij}$ .

**AsVDerV<sub>ij</sub>**: Área de acero de corte entre separación de la cara derecha de la viga V<sub>ij</sub>.

$$\begin{aligned} \mathbf{Ve1IzqV}_{ij} &= \mathbf{AsVIzqV}_{ij} \times 0.85 \times F_{yv} \times (HV_{ij} - Rec) \\ &+ \frac{0.85 \times 0.53 \times \sqrt{Fc}}{BV_{ij} \times (HV_{ij} - Rec)} \end{aligned} \quad (4.100)$$

**Ve1DerV<sub>ij</sub>**

$$\begin{aligned} &= \mathbf{AsVDerV}_{ij} \times 0.85 \times F_{yv} \times (HV_{ij} - Rec) \\ &+ \frac{0.85 \times 0.53 \times \sqrt{Fc}}{BV_{ij} \times (HV_{ij} - Rec)} \end{aligned} \quad (4.101)$$

$$\mathbf{Ve1V}_{ij} = \text{Max} \{ \mathbf{Ve1IzqV}_{ij} ; \mathbf{Ve1DerV}_{ij} \} \quad (4.102)$$

$$\mathbf{a11V}_{ij} = \frac{\mathbf{AsSupIzqV}_{ij} \times \text{FactorFy} \times Fy}{0.85 \times Fc \times BV_{ij}} \quad (4.103)$$

$$\mathbf{a12V}_{ij} = \frac{\mathbf{AsInfIzqV}_{ij} \times \text{FactorFy} \times Fy}{0.85 \times Fc \times BV_{ij}} \quad (4.104)$$

$$\mathbf{a13V}_{ij} = \frac{\mathbf{AsSupDerV}_{ij} \times \text{FactorFy} \times Fy}{0.85 \times Fc \times BV_{ij}} \quad (4.105)$$

$$\mathbf{a14V}_{ij} = \frac{\mathbf{AsInfDerV}_{ij} \times \text{FactorFy} \times Fy}{0.85 \times Fc \times BV_{ij}} \quad (4.106)$$

$$\mathbf{Mpr11V}_{ij} = \mathbf{AsSupIzqV}_{ij} \times \text{FactorFy} \times Fy \times \left[ (HV_{ij} - Rec) - \frac{\mathbf{a11V}_{ij}}{2} \right] \quad (4.107)$$

$$\mathbf{Mpr12V}_{ij} = \mathbf{AsInfIzqV}_{ij} \times \text{FactorFy} \times Fy \times \left[ (HV_{ij} - Rec) - \frac{\mathbf{a12V}_{ij}}{2} \right] \quad (4.108)$$

$$\mathbf{Mpr13V}_{ij} = \mathbf{AsSupDerV}_{ij} \times \text{FactorFy} \times Fy \times \left[ (HV_{ij} - Rec) - \frac{\mathbf{a13V}_{ij}}{2} \right] \quad (4.109)$$

$$\mathbf{Mpr14Vij} = \mathbf{AsInfDerVij} \times \mathbf{FactorFy} \times \mathbf{Fy} \times \left[ (\mathbf{HVij} - \mathbf{Rec}) - \frac{\mathbf{a14Vij}}{2} \right] \quad (4.110)$$

$$\mathbf{Vhp11Vij} = \frac{\mathbf{Mpr11Vij} + \mathbf{Mpr14Vij}}{\mathbf{LnVij}} \quad (4.111)$$

$$\mathbf{Vhp12Vij} = \frac{\mathbf{Mpr12Vij} + \mathbf{Mpr13Vij}}{\mathbf{LnVij}} \quad (4.112)$$

$$\mathbf{Vhp1Vij} = \mathbf{Min} \{ \mathbf{Vhp11Vij} ; \mathbf{Vhp12Vij} \} \quad (4.113)$$

$$\mathbf{VOVij} = \mathbf{Ve1Vij} - \mathbf{Vhp1Vij} \quad (4.114)$$

26.2. Se determina el corte hiperestático de la viga para el acero suministrado.

$$\mathbf{a21Vij} = \frac{\mathbf{AsTSupL_0Vij} \times \mathbf{FactorFy} \times \mathbf{Fy}}{0.85 \times \mathbf{Fc} \times \mathbf{BVij}} \quad (4.115)$$

$$\mathbf{a22Vij} = \frac{\mathbf{AsTInfL_0Vij} \times \mathbf{FactorFy} \times \mathbf{Fy}}{0.85 \times \mathbf{Fc} \times \mathbf{BVij}} \quad (4.116)$$

$$\mathbf{a23Vij} = \frac{\mathbf{AsTSupL_nVij} \times \mathbf{FactorFy} \times \mathbf{Fy}}{0.85 \times \mathbf{Fc} \times \mathbf{BVij}} \quad (4.117)$$

$$\mathbf{a24Vij} = \frac{\mathbf{AsTInfL_nVij} \times \mathbf{FactorFy} \times \mathbf{Fy}}{0.85 \times \mathbf{Fc} \times \mathbf{BVij}} \quad (4.118)$$

$$\mathbf{Mpr21Vij} = \mathbf{AsTSupL_0Vij} \times \mathbf{FactorFy} \times \mathbf{Fy} \times \left[ (\mathbf{HVij} - \mathbf{Rec}) - \frac{\mathbf{a21Vij}}{2} \right] \quad (4.119)$$

$$\mathbf{Mpr22Vij} = \mathbf{AsTInfL_0Vij} \times \mathbf{FactorFy} \times \mathbf{Fy} \times \left[ (\mathbf{HVij} - \mathbf{Rec}) - \frac{\mathbf{a22Vij}}{2} \right] \quad (4.120)$$

$$\mathbf{Mpr23V_{ij}} = \mathbf{AsTInfL_nV_{ij}} \times \mathbf{FactorFy} \times \mathbf{Fy} \times \left[ (\mathbf{HV_{ij}} - \mathbf{Rec}) - \frac{\mathbf{a23V_{ij}}}{2} \right] \quad (4.121)$$

$$\mathbf{Mpr24V_{ij}} = \mathbf{AsTInfL_nV_{ij}} \times \mathbf{FactorFy} \times \mathbf{Fy} \times \left[ (\mathbf{HV_{ij}} - \mathbf{Rec}) - \frac{\mathbf{a24V_{ij}}}{2} \right] \quad (4.122)$$

$$\mathbf{Vhp21V_{ij}} = \frac{\mathbf{Mpr21V_{ij}} + \mathbf{Mpr24V_{ij}}}{\mathbf{LnV_{ij}}} \quad (4.123)$$

$$\mathbf{Vhp22V_{ij}} = \frac{\mathbf{Mpr22V_{ij}} + \mathbf{Mpr23V_{ij}}}{\mathbf{LnV_{ij}}} \quad (4.124)$$

$$\mathbf{Vhp2V_{ij}} = \mathbf{Max} \{ \mathbf{Vhp21V_{ij}}; \mathbf{Vhp22V_{ij}} \} \quad (4.125)$$

26.3. Se obtiene finalmente la demanda de corte en la viga:

Si  $\mathbf{BC_{1j}}=0$  entonces:

$$\mathbf{Ve2V_{1j}} = \mathbf{V0V_{1j}}$$

Si  $\mathbf{BC_{nj}}=0$  entonces:

$$\mathbf{Ve2V_{nj}} = \mathbf{V0V_{nj}}$$

En el resto de los tramos:

$$\mathbf{Ve2V_{ij}} = \mathbf{Vhp2V_{ij}} + \mathbf{V0V_{ij}} \quad (4.126)$$

27. Se ingresa al sistema el diámetro del estribo  $\mathbf{DestV_{ij}}$ , área del estribo  $\mathbf{AestV_{ij}}$  y cantidad de ramas en cada una de las secciones  $\mathbf{NramasV_{ij}}$ .

28. Se calcula la separación de los estribos

28.1. La separación de estribos por cálculo:

$$AvV_{ij} = DestV_{ij} \times NramasV_{ij} \quad (4.127)$$

$$VsV_{ij} = \frac{Ve2V_{ij}}{0.85} - \frac{0.85 \times 0.53 \times \sqrt{Fc}}{BV_{ij} \times (HV_{ij} - Rec)} \quad (4.128)$$

$$ScV_{ij} = \frac{AvV_{ij} \times Fyv \times (HV_{ij} - Rec)}{VsV_{ij}} \quad (4.129)$$

28.2. Para la zona confinada se tienen las siguientes condiciones de separación exigidas por norma:

$$DbMinLongV_{ij} = \{Menor \text{ diámetro acero longitudinal de la viga } V_{ij}\} \quad (4.130)$$

$$SvV_{ij} = Min \left\{ \frac{HV_{ij} - Rec}{4}; (8 \times DbMinLongV_{ij}); (24 \times DestV_{ij}); 30 \right\} \quad (4.131)$$

28.3. La separación de estribos definitiva a colocar en la zona confinada será la siguiente:

$$SestZCV_{ij} = Min \{ScV_{ij}; SvV_{ij}\} \quad (4.132)$$

28.4. La separación de estribos definitiva a colocar en la zona no confinada será la siguiente:

$$SestZNCV_{ij} = Min \left\{ ScV_{ij}; \frac{HV_{ij} - Rec}{2} \right\} \quad (4.133)$$

## 4.2 Ejemplo de cálculo manual para la comprobación del funcionamiento del algoritmo

Se comprobó mediante un ejemplo de cálculo manual el correcto funcionamiento del algoritmo, demostrando que la propuesta efectúa el cálculo de todos los valores necesarios para realizar el armado de una viga de manera satisfactoria. En el APÉNDICE B se encuentra el ejemplo realizado, donde se desarrolla el armado de la viga A de la estructura propuesta en el título 3.3.3.

## 4.3 Diseño del programa de armado de vigas de concreto reforzado, basado en el algoritmo desarrollado

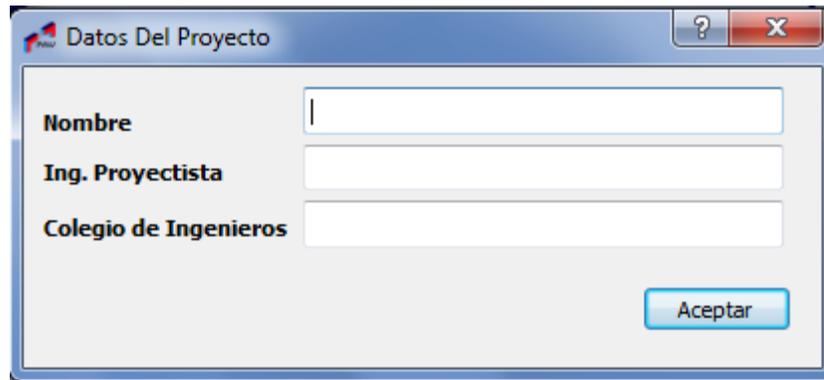
### 4.3.1 Funcionamiento del programa

La pantalla inicial del programa (Figura 22) incluye el logo y la versión del mismo. Esta se muestra una vez se ejecuta la aplicación del Programa de Armado de Vigas.



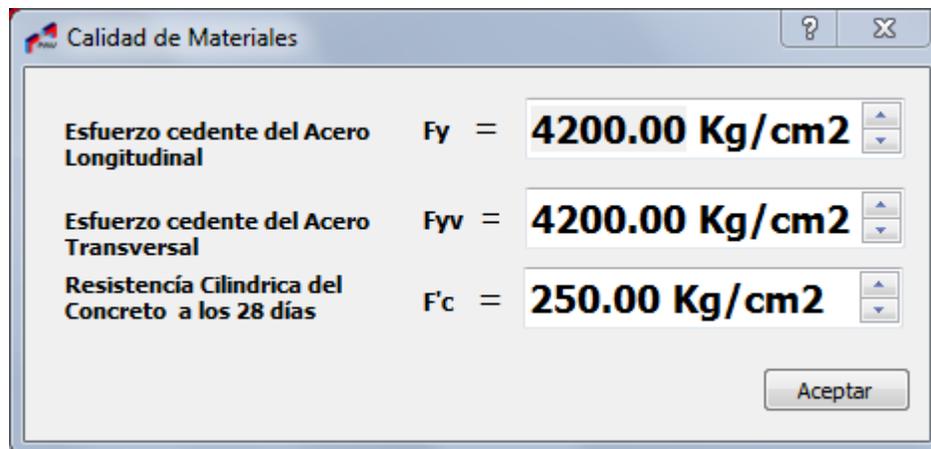
Figura 22. Pantalla inicial del programa.

A continuación se presentan dos ventanas para el ingreso de los datos iniciales del proyecto (Figura 23 y Figura 24). Nótese que en la ventana de ingreso de calidad de los materiales se encuentran predeterminadas las variables  $F_y$ ,  $F_{yv}$  y  $F_c$ .



The screenshot shows a window titled "Datos Del Proyecto". It has a standard Windows-style title bar with a question mark icon and a close button (X). The main area contains three text input fields stacked vertically, labeled "Nombre", "Ing. Proyectista", and "Colegio de Ingenieros". At the bottom right of the window is a button labeled "Aceptar".

Figura 23. Ventana para ingresar los datos del proyecto.



The screenshot shows a window titled "Calidad de Materiales". It has a standard Windows-style title bar with a question mark icon and a close button (X). The main area contains three rows of material properties, each with a label, a variable name, an equals sign, a value in a text box, and a spin button. The first row is "Esfuerzo cedente del Acero Longitudinal" with  $F_y = 4200.00 \text{ Kg/cm}^2$ . The second row is "Esfuerzo cedente del Acero Transversal" with  $F_{yv} = 4200.00 \text{ Kg/cm}^2$ . The third row is "Resistencia Cilindrica del Concreto a los 28 días" with  $F'_c = 250.00 \text{ Kg/cm}^2$ . At the bottom right of the window is a button labeled "Aceptar".

Figura 24. Ventana para el ingreso de la calidad de los materiales.

Una vez suministrada la información anterior el programa dirige al usuario a la pantalla principal. En la cual se procede a realizar todas las operaciones asociadas al armado de la viga que se desea realizar (Ver Figura 25)

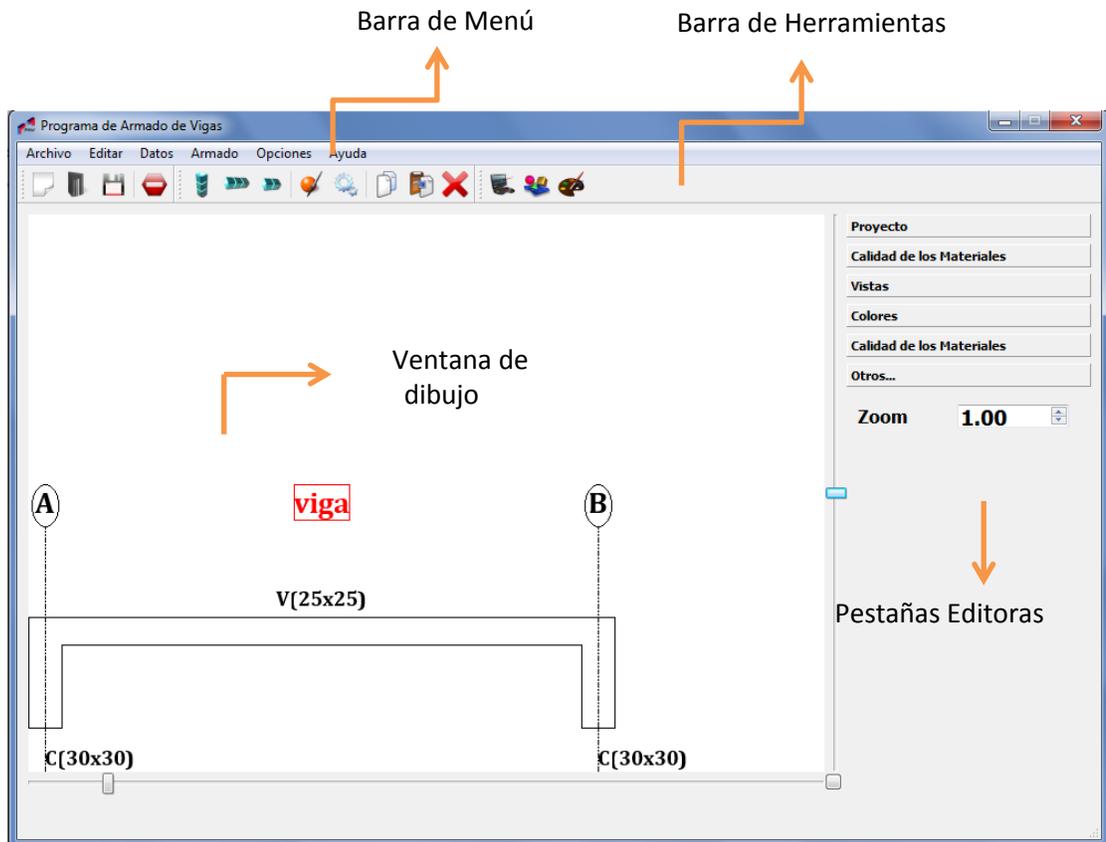


Figura 25. Ventana principal del software.

Para ingresar el diámetro y cantidad de cabillas que conforman el acero corrido, se utiliza una ventana como se muestra en la Figura 26.

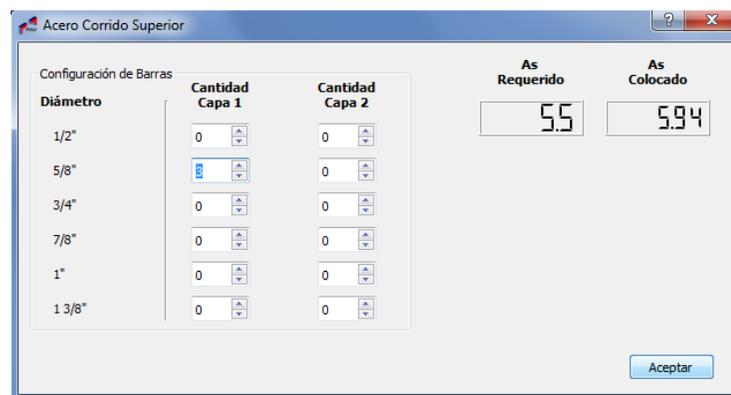


Figura 26. Ventana para ingresar el diámetro y cantidad de cabillas.

Además se creó el manual de usuario del programa, donde se explica detalladamente la función de cada una de las herramientas, además de ilustrar el funcionamiento de cada una de las ventanas del programa. Se presenta también las condiciones de uso del software para que los resultados que se muestren en pantalla sean los deseados, debido a que un mal ingreso de los datos puede resultar en un armado incorrecto. El manual de usuario se encuentra en el APÉNDICE D, en la Figura 27 se presenta la portada del mismo.

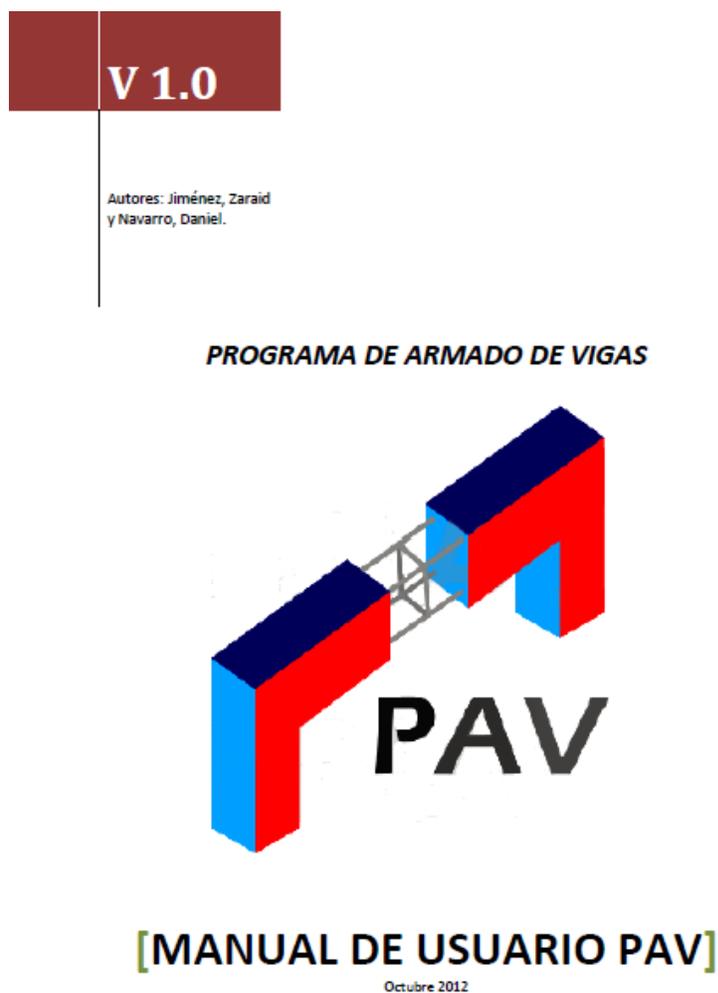


Figura 27. Manual de usuario PAV.

#### 4.4 Evaluación de la eficiencia del software

Se evaluó la eficiencia del software midiendo los tiempos empleados en el armado de la viga propuesta para los tres participantes, los resultados de cada uno de ellos se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

*Tiempo de trabajo manual y por medio del programa de los participantes.*

	$t_m$	$t_p$	$t_m-t_p$	$t_m/t_p$
<b>Participante 1</b>	0:44:20,4	0:4:45,8	0:39:34,56	9,33
<b>Participante 2</b>	0:48:34,6	0:5:37,1	0:42:57,5	8,65
<b>Participante 3</b>	0:45:48,5	0:6:05,6	0:39:42,59	7,53
<b>Media</b>	0:46:14,5	0:5:29,5	0:40:45,5	8,43

Una vez realizadas las pruebas se obtuvo la media, con la cual según la Ecuación (3.35) planteada anteriormente, se calculó el número de veces ( $N$ ) que aumenta el tiempo empleado por el usuario en ingresar los datos al programa y obtener el resultado, respecto al tiempo que emplea el usuario en realizar el cálculo manual. Esta operación se presenta a continuación:

$$N = \frac{0:46:14,5}{0:5:29,5} = 8,43$$

El ahorro de tiempo empleando el programa respecto al cálculo manual (A) sería el siguiente:

$$A = \frac{0:46:14,5 - 0:5:29,5}{0:46:14,5} \times 100\% = 88,14\%$$

Este porcentaje de ahorro de tiempo es una cifra considerable puesto que aumenta en gran parte la eficiencia del ingeniero en los proyectos de cálculo estructural. Es importante recalcar que aunque se disminuye el tiempo de detallado del proyecto también se presenta una disminución de tiempo en la fase de dibujo, revisión y corrección, puesto que reduce las posibilidades de errores por parte del dibujante producidos por equivocaciones al momento de la lectura de los cálculos del ingeniero proyectista, dado que los mismos ahora estarán a la mano en el Programa de Armado de Vigas o impresos con una letra legible y a escala.

## CONCLUSIONES

- Se estructuró la serie de pasos para el armado de vigas de concreto reforzado cumpliendo con las especificaciones establecidas en la normativa legal venezolana (COVENIN MINDUR 1753:2006) que actualmente se encuentra en vigencia, ya que se tomaron en cuenta los artículos referentes al proceso.
- Se desarrolló el algoritmo con una sólida y actualizada base teórica en diseño de elementos de concreto reforzado, el cual sirvió de base para la creación del software de armado de vigas.
- El funcionamiento del algoritmo se comprobó mediante un ejemplo de cálculo manual, obteniéndose los resultados esperados. Asegurando de esta manera el correcto funcionamiento del mismo en el programa de armado de vigas.
- El programa se diseñó en base al algoritmo desarrollado, parte de los resultados de áreas de acero que se pueden obtener a través de un programa de Cálculo Estructural y requiere la especificación de la geometría de las vigas y del pórtico como variable a definir. Con ello, se obtiene el armado de las vigas, lo que puede visualizarse gráficamente e imprimirse, para ser empleado en la elaboración de planos tanto en físico como en formato digital.
- La eficiencia del programa es 8,43 veces mayor a la metodología tradicional, y el porcentaje de ahorro de tiempo es de 88,14%. Esto es una ventaja significativa en la relación de horas hombre invertidas en un proyecto de ingeniería estructural y en la entrega del mismo, ya que se obtienen resultados de mayor calidad en un tiempo mucho menor.
- El programa incluye un manual de usuario, cuya elaboración está orientada a facilitar su uso, conocer su funcionamiento, y revisar los criterios utilizados en la elaboración del algoritmo para su correcta aplicación.
- En el diseño del programa, la información es ingresada de forma secuencial con la selección de opciones. Respecto a esto, el programa suministra

recomendaciones para el cálculo pero también admite el uso del criterio personal, lo que permite la interacción del usuario ajustando las condiciones. Esto evidencia que el programa puede adaptarse a la experiencia que posea el usuario, ya sea estudiante o profesional.

## RECOMENDACIONES

- Antes de utilizar el programa por primera vez, se recomienda leer con detenimiento el manual del usuario para conocer y aprovechar todas las funciones que el Programa de Armado de Vigas (PAV) ofrece, así como también sus alcances y restricciones. Además, es importante seguir las instrucciones de uso para garantizar resultados exitosos.
- El uso del Programa de Armado de Vigas está limitado a Ingenieros Civiles o estudiantes de esta carrera, debido a que requieren un conocimiento base para analizar los resultados que presenta el software.
- Continuar con el desarrollo del programa, mejorando funciones actuales y agregando nuevas, para que cada versión resulte más completa, y por lo tanto más competente, que la anterior.
- En futuras versiones es imprescindible integrar el programa con el software Autocad®, ya que brindaría una gran ventaja para los ingenieros en la etapa de dibujo del proceso de armado de vigas de un proyecto.
- Dar a conocer el Programa de Armado de Vigas (PAV) y este trabajo como una herramienta para fines educacionales en las cátedras relacionadas, con el fin de facilitar el aprendizaje de esta tarea a los estudiantes de Ingeniería Civil, además de brindarles un instrumento que servirá para su futura carrera profesional.
- Integrar el Programa de Armado de Vigas (PAV) junto con otros software creados en la Universidad de Carabobo, para así elaborar una biblioteca de programas pertenecientes a esta casa de estudios y los cuales sean fáciles de acceder.
- Incluir normativas internacionales en futuras versiones del Programa de Armado de Vigas (PAV), extendiendo su campo de aplicación y así poder diseñar en base a la normativa deseada.

- Diseñar el Programa de Armado de Vigas para una arquitectura de 64 bits, para que el mismo pueda ser ejecutado en todos los computadores que se encuentran actualmente en el mercado.

## BIBLIOGRAFÍA

An Introduction to C++. Extraído el 20 de agosto de 2012 desde <http://www.dummies.com/how-to/content/an-introduction-to-c.html>.

Bazán, E. y Meli, R. (2011). *Diseño sísmico de edificios*. México: Editorial Limusa, S.A.

Comisión de Normas para Estructuras de Edificaciones del Ministerio del Desarrollo Urbano. (1988). *Norma Venezolana 2002-88, CRITERIOS Y ACCIONES MÍNIMAS PARA EL PROYECTO DE EDIFICACIONES*. Caracas.

Comité Técnico de Normalización CT3 Obras Civiles. (2006). *Norma Venezolana 1753:2006, PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL*. Caracas.

Cota A. (1994) "Ingeniería de Software". Soluciones Avanzadas. Julio de 1994.

Diccionario de Informática. Extraído el 5 de agosto de 2012 desde <http://www.alegsa.com.ar>.

Frick, Cesar (2008). Programación Orientada a Objetos (un acercamiento para novatos). Extraído el 20 de agosto de 2012 desde <http://thefricky.wordpress.com>.

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS. (2001). *Norma Venezolana COVENIN 1756:2001, Partes 1 y 2, titulada EDIFICACIONES SIMOSRRESISTENTES, REQUISITOS Y COMENTARIOS*. Caracas.

Hernández, Eliud (2010). *Análisis y Diseño Estructural Utilizando el Programa ETABS v9*. Caracas.

Juan Soulié (2008). C++ Language Tutorial. Extraído desde [www.cplusplus.com](http://www.cplusplus.com). Traducción Jiménez y Navarro (2012).

Manual Básico de Programación en C++. Extraído el 20 de agosto de 2012 desde <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar>.

McCormac, J. (2010). *Diseño de concreto reforzado*. México: Editorial: Alfaomega Grupo Editor, S.A.

Park, R. y Paulay, T. (1994). *Estructuras de concreto reforzado*. México: Editorial Limusa, S.A.

Productos Qt y Qt Creator. Extraído el 20 de agosto de 2012 desde <http://qt.digia.com/product/>.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2006). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: FEDUPEL.

Zavala, R. (2000). Diseño de un Sistema de Información Geográfica sobre internet. Tesis de Maestría en Ciencias de la Computación. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

## **APÉNDICE A**

### **TABLAS DE SALIDA DEL SOFTWARE ETABS PARA EL EJEMPLO DE CÁLCULO**

**Tabla 3.***Tabla de salida de datos ETABS®.*

Story	BayID	SecID	StnLoc	Status	AsTopCombo	AsMinTop	AsTop	AsBotCombo	AsMinBot	AsBot
NIVEL +3	B191	V30X40	25	No Message	COMB4	3.515	3.515	COMB4	1.867	1.867
NIVEL +3	B191	V30X40	75	No Message	COMB4	0.974	0.974	COMB4	0.927	0.927
NIVEL +3	B191	V30X40	125	No Message	COMB4	0.927	0.927	COMB2	2.265	2.265
NIVEL +3	B191	V30X40	175	No Message	COMB4	0.927	0.927	COMB2	3.149	3.149
NIVEL +3	B191	V30X40	225	No Message	COMB4	0.927	0.927	COMB2	3.153	3.153
NIVEL +3	B191	V30X40	275	No Message	COMB4	0.927	0.927	COMB2	2.276	2.276
NIVEL +3	B191	V30X40	325	No Message	COMB4	0.927	0.927	COMB4	0.927	0.927
NIVEL +3	B191	V30X40	375	No Message	COMB4	3.515	3.515	COMB4	1.794	1.794
NIVEL +3	B192	V30X40	25	No Message	COMB4	3.26	3.26	COMB4	1.611	1.611
NIVEL +3	B192	V30X40	74.286	No Message	COMB4	1.347	1.347	COMB4	1.347	1.347
NIVEL +3	B192	V30X40	123.571	No Message	COMB4	1.347	1.347	COMB2	1.946	1.946
NIVEL +3	B192	V30X40	172.857	No Message	COMB4	1.347	1.347	COMB2	2.553	2.553
NIVEL +3	B192	V30X40	222.143	No Message	COMB4	1.347	1.347	COMB2	2.309	2.309
NIVEL +3	B192	V30X40	271.429	No Message	COMB4	1.347	1.347	COMB4	1.347	1.347
NIVEL +3	B192	V30X40	320.714	No Message	COMB4	2.452	2.452	COMB4	1.347	1.347
NIVEL +3	B192	V30X40	370	No Message	COMB4	3.515	4.167	COMB4	2.722	2.722
NIVEL +3	B193	V30X40	25	No Message	COMB4	3.26	3.26	COMB4	1.611	1.611
NIVEL +3	B193	V30X40	74.286	No Message	COMB4	1.347	1.347	COMB4	1.347	1.347
NIVEL +3	B193	V30X40	123.571	No Message	COMB4	1.347	1.347	COMB2	1.946	1.946
NIVEL +3	B193	V30X40	172.857	No Message	COMB4	1.347	1.347	COMB2	2.553	2.553
NIVEL +3	B193	V30X40	222.143	No Message	COMB4	1.347	1.347	COMB2	2.309	2.309
NIVEL +3	B193	V30X40	271.429	No Message	COMB4	1.347	1.347	COMB4	1.347	1.347
NIVEL +3	B193	V30X40	320.714	No Message	COMB4	2.452	2.452	COMB4	1.347	1.347
NIVEL +3	B193	V30X40	370	No Message	COMB4	3.515	4.167	COMB4	2.722	2.722
NIVEL +3	B194	V30X40	25	No Message	COMB4	3.515	3.515	COMB4	1.867	1.867
NIVEL +3	B194	V30X40	75	No Message	COMB4	0.974	0.974	COMB4	0.927	0.927

Tabla 3. (cont.)

Story	BayID	SecID	StnLoc	VCombo	VRebar	TLngCombo	TLngRebar	TTrnCombo	TTrnRebar	ErrMsg	WarnMsg
NIVEL +3	B191	V30X40	25	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B191	V30X40	75	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B191	V30X40	125	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B191	V30X40	175	COMB4	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B191	V30X40	225	COMB4	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B191	V30X40	275	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B191	V30X40	325	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B191	V30X40	375	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B192	V30X40	25	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B192	V30X40	74.286	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B192	V30X40	123.571	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B192	V30X40	172.857	COMB5	0	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B192	V30X40	222.143	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B192	V30X40	271.429	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B192	V30X40	320.714	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B192	V30X40	370	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B193	V30X40	25	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B193	V30X40	74.286	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B193	V30X40	123.571	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B193	V30X40	172.857	COMB5	0	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B193	V30X40	222.143	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B193	V30X40	271.429	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B193	V30X40	320.714	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B193	V30X40	370	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B194	V30X40	25	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B194	V30X40	75	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message

Tabla 3. (cont.)

Story	BayID	SecID	StnLoc	Status	AsTopCombo	AsMinTop	AsTop	AsBotCombo	AsMinBot	AsBot
NIVEL +3	B194	V30X40	125	No Message	COMB4	0.927	0.927	COMB2	2.265	2.265
NIVEL +3	B194	V30X40	175	No Message	COMB4	0.927	0.927	COMB2	3.149	3.149
NIVEL +3	B194	V30X40	225	No Message	COMB4	0.927	0.927	COMB2	3.153	3.153
NIVEL +3	B194	V30X40	275	No Message	COMB4	0.927	0.927	COMB2	2.276	2.276
NIVEL +3	B194	V30X40	325	No Message	COMB4	0.927	0.927	COMB4	0.927	0.927
NIVEL +3	B194	V30X40	375	No Message	COMB4	3.515	3.515	COMB4	1.794	1.794
NIVEL +3	B195	V30X40	25	No Message	COMB4	1.78	1.78	COMB5	0.933	0.933
NIVEL +3	B195	V30X40	75	No Message	COMB4	1.118	1.118	COMB5	0.92	0.92
NIVEL +3	B195	V30X40	125	No Message	COMB5	0.594	0.594	COMB4	0.879	0.879
NIVEL +3	B195	V30X40	175	No Message	COMB4	0.441	0.441	COMB4	0.774	0.774
NIVEL +3	B195	V30X40	225	No Message	COMB4	0.441	0.441	COMB4	0.578	0.578
NIVEL +3	B195	V30X40	275	No Message	COMB4	0.441	0.441	COMB4	0.578	0.578
NIVEL +3	B195	V30X40	325	No Message	COMB4	0.441	0.441	COMB4	0.774	0.774
NIVEL +3	B195	V30X40	375	No Message	COMB5	0.594	0.594	COMB4	0.879	0.879
NIVEL +3	B195	V30X40	425	No Message	COMB4	1.118	1.118	COMB5	0.92	0.92
NIVEL +3	B195	V30X40	475	No Message	COMB4	1.78	1.78	COMB5	0.933	0.933
NIVEL +3	B196	V30X40	30	No Message	COMB4	1.694	1.694	COMB5	0.864	0.864
NIVEL +3	B196	V30X40	78.889	No Message	COMB4	1.066	1.066	COMB5	0.856	0.856
NIVEL +3	B196	V30X40	127.778	No Message	COMB5	0.567	0.567	COMB4	0.818	0.818
NIVEL +3	B196	V30X40	176.667	No Message	COMB4	0.42	0.42	COMB4	0.722	0.722
NIVEL +3	B196	V30X40	225.556	No Message	COMB4	0.42	0.42	COMB4	0.539	0.539
NIVEL +3	B196	V30X40	274.444	No Message	COMB4	0.42	0.42	COMB4	0.539	0.539
NIVEL +3	B196	V30X40	323.333	No Message	COMB4	0.42	0.42	COMB4	0.722	0.722
NIVEL +3	B196	V30X40	372.222	No Message	COMB5	0.567	0.567	COMB4	0.818	0.818
NIVEL +3	B196	V30X40	421.111	No Message	COMB4	1.066	1.066	COMB5	0.856	0.856
NIVEL +3	B196	V30X40	470	No Message	COMB4	1.694	1.694	COMB5	0.864	0.864
NIVEL +3	B197	V30X40	25	No Message	COMB4	1.957	1.957	COMB5	1.11	1.11
NIVEL +3	B197	V30X40	75	No Message	COMB4	1.254	1.254	COMB5	1.058	1.058
NIVEL +3	B197	V30X40	125	No Message	COMB5	0.691	0.691	COMB4	0.978	0.978

Tabla 3. (cont.)

Story	BayID	SecID	StnLoc	VCombo	VRebar	TLngCombo	TLngRebar	TTrnCombo	TTrnRebar	ErrMsg	WarnMsg
NIVEL +3	B194	V30X40	125	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B194	V30X40	175	COMB4	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B194	V30X40	225	COMB4	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B194	V30X40	275	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B194	V30X40	325	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B194	V30X40	375	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B195	V30X40	25	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B195	V30X40	75	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B195	V30X40	125	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B195	V30X40	175	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B195	V30X40	225	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B195	V30X40	275	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B195	V30X40	325	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B195	V30X40	375	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B195	V30X40	425	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B195	V30X40	475	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B196	V30X40	30	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B196	V30X40	78.889	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B196	V30X40	127.778	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B196	V30X40	176.667	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B196	V30X40	225.556	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B196	V30X40	274.444	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B196	V30X40	323.333	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B196	V30X40	372.222	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B196	V30X40	421.111	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B196	V30X40	470	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B197	V30X40	25	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B197	V30X40	75	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B197	V30X40	125	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message

Tabla 3. (cont.)

Story	BayID	SecID	StnLoc	Status	AsTopCombo	AsMinTop	AsTop	AsBotCombo	AsMinBot	AsBot
NIVEL +3	B197	V30X40	175	No Message	COMB4	0.484	0.484	COMB4	0.834	0.834
NIVEL +3	B197	V30X40	225	No Message	COMB4	0.484	0.484	COMB4	0.599	0.599
NIVEL +3	B197	V30X40	275	No Message	COMB4	0.484	0.484	COMB4	0.599	0.599
NIVEL +3	B197	V30X40	325	No Message	COMB4	0.484	0.484	COMB4	0.834	0.834
NIVEL +3	B197	V30X40	375	No Message	COMB5	0.691	0.691	COMB4	0.978	0.978
NIVEL +3	B197	V30X40	425	No Message	COMB4	1.254	1.254	COMB5	1.058	1.058
NIVEL +3	B197	V30X40	475	No Message	COMB4	1.957	1.957	COMB5	1.11	1.11
NIVEL +3	B198	V30X40	30	No Message	COMB4	1.724	1.724	COMB5	0.894	0.894
NIVEL +3	B198	V30X40	78.889	No Message	COMB4	1.089	1.089	COMB5	0.879	0.879
NIVEL +3	B198	V30X40	127.778	No Message	COMB5	0.583	0.583	COMB4	0.834	0.834
NIVEL +3	B198	V30X40	176.667	No Message	COMB4	0.427	0.427	COMB4	0.732	0.732
NIVEL +3	B198	V30X40	225.556	No Message	COMB4	0.427	0.427	COMB4	0.542	0.542
NIVEL +3	B198	V30X40	274.444	No Message	COMB4	0.427	0.427	COMB4	0.542	0.542
NIVEL +3	B198	V30X40	323.333	No Message	COMB4	0.427	0.427	COMB4	0.732	0.732
NIVEL +3	B198	V30X40	372.222	No Message	COMB5	0.583	0.583	COMB4	0.834	0.834
NIVEL +3	B198	V30X40	421.111	No Message	COMB4	1.089	1.089	COMB5	0.879	0.879
NIVEL +3	B198	V30X40	470	No Message	COMB4	1.724	1.724	COMB5	0.894	0.894
NIVEL +3	B199	V30X60	30	No Message	COMB2	5.524	13.24	COMB2	5.524	6.336
NIVEL +3	B199	V30X60	79.474	No Message	COMB2	5.524	8.5	COMB2	4.14	4.14
NIVEL +3	B199	V30X60	128.947	No Message	COMB4	5.524	5.524	COMB2	4.14	4.14
NIVEL +3	B199	V30X60	178.421	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	4.14	4.14
NIVEL +3	B199	V30X60	227.895	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	5.524
NIVEL +3	B199	V30X60	277.368	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	6.662
NIVEL +3	B199	V30X60	326.842	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	8.537
NIVEL +3	B199	V30X60	376.316	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	9.984
NIVEL +3	B199	V30X60	425.789	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	10.98
NIVEL +3	B199	V30X60	475.263	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	11.504
NIVEL +3	B199	V30X60	524.737	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	11.546
NIVEL +3	B199	V30X60	574.211	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	11.106

Tabla 3. (cont.)

Story	BayID	SecID	StnLoc	VCombo	VRebar	TLngCombo	TLngRebar	TTrnCombo	TTrnRebar	ErrMsg	WarnMsg
NIVEL +3	B197	V30X40	175	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B197	V30X40	225	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B197	V30X40	275	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B197	V30X40	325	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B197	V30X40	375	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B197	V30X40	425	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B197	V30X40	475	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B198	V30X40	30	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B198	V30X40	78.889	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B198	V30X40	127.778	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B198	V30X40	176.667	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B198	V30X40	225.556	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B198	V30X40	274.444	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B198	V30X40	323.333	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B198	V30X40	372.222	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B198	V30X40	421.111	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B198	V30X40	470	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	30	COMB4	0.064	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	79.474	COMB4	0.055	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	128.947	COMB4	0.045	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	178.421	COMB4	0.035	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	227.895	COMB4	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	277.368	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	326.842	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	376.316	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	425.789	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	475.263	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	524.737	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	574.211	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message

Tabla 3. (cont.)

Story	BayID	SecID	StnLoc	Status	AsTopCombo	AsMinTop	AsTop	AsBotCombo	AsMinBot	AsBot
NIVEL +3	B199	V30X60	623.684	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	10.192
NIVEL +3	B199	V30X60	673.158	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	8.822
NIVEL +3	B199	V30X60	722.632	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	7.021
NIVEL +3	B199	V30X60	772.105	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	5.524
NIVEL +3	B199	V30X60	821.579	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	4.14	4.14
NIVEL +3	B199	V30X60	871.053	No Message	COMB4	5.229	5.229	COMB2	4.14	4.14
NIVEL +3	B199	V30X60	920.526	No Message	COMB2	5.524	7.488	COMB2	4.14	4.14
NIVEL +3	B199	V30X60	970	No Message	COMB2	5.524	12.035	COMB2	5.524	5.784
NIVEL +3	B200	V30X60	30	No Message	COMB2	5.524	13.24	COMB2	5.524	6.336
NIVEL +3	B200	V30X60	79.474	No Message	COMB2	5.524	8.5	COMB2	4.14	4.14
NIVEL +3	B200	V30X60	128.947	No Message	COMB4	5.524	5.524	COMB2	4.14	4.14
NIVEL +3	B200	V30X60	178.421	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	4.14	4.14
NIVEL +3	B200	V30X60	227.895	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	5.524
NIVEL +3	B200	V30X60	277.368	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	6.662
NIVEL +3	B200	V30X60	326.842	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	8.537
NIVEL +3	B200	V30X60	376.316	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	9.984
NIVEL +3	B200	V30X60	425.789	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	10.98
NIVEL +3	B200	V30X60	475.263	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	11.504
NIVEL +3	B200	V30X60	524.737	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	11.546
NIVEL +3	B200	V30X60	574.211	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	11.106
NIVEL +3	B200	V30X60	623.684	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	10.192
NIVEL +3	B200	V30X60	673.158	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	8.822
NIVEL +3	B200	V30X60	722.632	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	7.021
NIVEL +3	B200	V30X60	772.105	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	5.524	5.524
NIVEL +3	B200	V30X60	821.579	No Message	COMB2	4.14	4.14	COMB2	4.14	4.14
NIVEL +3	B200	V30X60	871.053	No Message	COMB4	5.229	5.229	COMB2	4.14	4.14
NIVEL +3	B200	V30X60	920.526	No Message	COMB2	5.524	7.488	COMB2	4.14	4.14
NIVEL +3	B200	V30X60	970	No Message	COMB2	5.524	12.035	COMB2	5.524	5.784
NIVEL +3	B201	V30X30	0	No Message	COMB4	0	0	COMB5	0	0

Tabla 3. (cont.)

Story	BayID	SecID	StnLoc	VCombo	VRebar	TLngCombo	TLngRebar	TTrnCombo	TTrnRebar	ErrMsg	WarnMsg
NIVEL +3	B199	V30X60	623.684	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	673.158	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	722.632	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	772.105	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	821.579	COMB4	0.033	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	871.053	COMB4	0.043	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	920.526	COMB4	0.052	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B199	V30X60	970	COMB4	0.062	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	30	COMB4	0.064	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	79.474	COMB4	0.055	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	128.947	COMB4	0.045	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	178.421	COMB4	0.035	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	227.895	COMB4	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	277.368	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	326.842	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	376.316	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	425.789	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	475.263	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	524.737	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	574.211	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	623.684	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	673.158	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	722.632	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	772.105	COMB5	0.025	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	821.579	COMB4	0.033	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	871.053	COMB4	0.043	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	920.526	COMB4	0.052	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B200	V30X60	970	COMB4	0.062	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B201	V30X30	0	COMB4	0.031	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message

**Tabla 3. (cont.)**

Story	BayID	SecID	StnLoc	Status	AsTopCombo	AsMinTop	AsTop	AsBotCombo	AsMinBot	AsBot	
NIVEL +3	B201	V30X30	37.5	No Message	COMB2	0.355	0.355	COMB2	0.355	0.355	
NIVEL +3	B201	V30X30	75	No Message	COMB2	1.437	1.437	COMB2	0.713	0.713	
NIVEL +3	B202	V30X30	0	No Message	COMB5	0	0	COMB5	0	0	
NIVEL +3	B202	V30X30	37.5	No Message	COMB2	0.355	0.355	COMB2	0.355	0.355	
NIVEL +3	B202	V30X30	75	No Message	COMB2	1.437	1.437	COMB2	0.713	0.713	
Story	BayID	SecID	StnLoc	VCombo	VRebar	TLngCombo	TLngRebar	TTmCombo	TTmRebar	ErrMsg	WarnMsg
NIVEL +3	B201	V30X30	37.5	COMB4	0.046	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B201	V30X30	75	COMB4	0.061	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B202	V30X30	0	COMB5	0.031	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B202	V30X30	37.5	COMB4	0.046	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message
NIVEL +3	B202	V30X30	75	COMB4	0.061	COMB5	0	COMB5	0	No Message	No Message

## **APÉNDICE B**

### **EJEMPLO DE CÁLCULO MANUAL PARA LA COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL ALGORITMO**

**Paso 1**

Se ingresan los datos del pórtico (ejes y dimensiones) así como la geometría de las vigas y columnas en la ventana de entrada de datos, para el presente ejemplo se trabajará con el diseño de la viga del pórtico A. Luego se importa el archivo de datos en formato de texto (.txt) o delimitado por comas (CSV).

**Paso 2**

$$F_c = 250$$

$$F_y = 4200$$

$$F_{yv} = 4200$$

$$FactorF_y = 1,25$$

$$Rec = 5$$

$$P_{max} = 0,0125$$

**Paso 3**

Para el primer tramo del pórtico:

$$V_{1,1} = B202$$

$$NivelV_{1,1} = Nivel + 3$$

$$L_{1,1} = 1$$

$$DDEIV_{1,1} = 0$$

$$DIEDV_{1,1} = 25$$

$$BV_{1,1} = 30$$

$$HV_{1,1} = 30$$

$$BC_{1,1} = 0$$

Para el segundo tramo del pórtico:

$$V_{2,1} = B194$$

$$NivelW_{2,1} = Nivel + 3$$

$$L_{2,1} = 4$$

$$DDEIV_{2,1} = 25$$

$$DIEDV_{2,1} = 25$$

$$BV_{2,1} = 30$$

$$HV_{2,1} = 40$$

$$BC_{2,1} = 50$$

Para el tercer tramo del pórtico:

$$V_{3,1} = B193$$

$$NivelW_{3,1} = Nivel + 3$$

$$L_{3,1} = 4$$

$$DDEIV_{3,1} = 25$$

$$DIEDV_{3,1} = 30$$

$$BV_{3,1} = 30$$

$$HV_{3,1} = 40$$

$$BC_{3,1} = 50$$

Para el cuarto tramo del pórtico:

$$V_{4,1} = B200$$

$$NivelV_{4,1} = Nivel + 3$$

$$L_{4,1} = 10$$

$$DDEIV_{4,1} = 30$$

$$DIEDV_{4,1} = 30$$

$$BV_{4,1} = 30$$

$$HV_{4,1} = 60$$

$$BC_{4,1} = 60$$

$$BC_{5,1} = 60$$

#### **Paso 4**

$$CIV_{1,1} = 1 \times 100 - (1 \times 100 - 0) = 0$$

$$CDV_{1,1} = 1 \times 100 - 25 = 75$$

$$CIV_{2,1} = 4 \times 100 - (4 \times 100 - 25) = 25$$

$$CDV_{2,1} = 4 \times 100 - 25 = 375$$

$$CIV_{3,1} = 4 \times 100 - (4 \times 100 - 25) = 25$$

$$CDV_{3,1} = 4 \times 100 - 30 = 370$$

$$CIV_{4,1} = 10 \times 100 - (10 \times 100 - 30) = 30$$

$$CDV_{4,1} = 10 \times 100 - 30 = 970$$

**Paso 5**

$$AsSupIzqV_{1,1} = 0$$

$$AsSupDerV_{1,1} = 1,437$$

$$AsInflzqV_{1,1} = 0$$

$$AsInfDerV_{1,1} = 0,713$$

$$AsSupIzqV_{2,1} = 3,515$$

$$AsSupDerV_{2,1} = 3,515$$

$$AsInflzqV_{2,1} = 1,867$$

$$AsInfDerV_{2,1} = 1,794$$

$$AsSupIzqV_{3,1} = 3,26$$

$$AsSupDerV_{3,1} = 4,167$$

$$AsInflzqV_{3,1} = 1,611$$

$$AsInfDerV_{3,1} = 2,722$$

$$AsSupIzqV_{4,1} = 13,24$$

$$AsSupDerV_{4,1} = 12,035$$

$$AsInflzqV_{4,1} = 6,336$$

$$AsInfDerV_{4,1} = 5,784$$

**Paso 6**

$$AsMin1V_{1,1} = \frac{14}{4200} \times 30 \times (30 - 5) = 2,50$$

$$AsMin1V_{2,1} = \frac{14}{4200} \times 30 \times (40 - 5) = 3,50$$

$$AsMin1V_{3,1} = \frac{14}{4200} \times 30 \times (40 - 5) = 3,50$$

$$AsMin1V_{4,1} = \frac{14}{4200} \times 30 \times (60 - 5) = 5,50$$

**Paso 7**

$$AsMin2V_{1,1} = \frac{Max(0; 1,437; 0; 0,713)}{4} = 0,359$$

$$AsMin2V_{2,1} = \frac{Max(3,515; 3,515; 1,867; 1,794)}{4} = 0,879$$

$$AsMin2V_{3,1} = \frac{Max(3,26; 4,167; 1,611; 2,722)}{4} = 1,042$$

$$AsMin2V_{4,1} = \frac{Max(13,24; 12,035; 4,167; 5,784)}{4} = 3,31$$

$$AsMinSupV_{1,1} = Max(2,50 ; 0,369) = 2,50$$

$$AsMinSupV_{2,1} = Max(3,50 ; 0,879) = 3,50$$

$$AsMinSupV_{3,1} = Max(3,50 ; 1,042) = 3,50$$

$$AsMinSupV_{4,1} = Max(5,50 ; 3,31) = 5,50$$

$$AsMinSupV_1 = Max(2,50; 3,50; 3,50; 5,50) = 5,50$$

**Paso 8**

$$AsMinInf1V_{1,1} = \frac{Max(0; 1,437)}{2} = 0,179$$

$$AsMinInf1V_{2,1} = \frac{Max(3,515; 3,515)}{2} = 1,758$$

$$AsMinInf1V_{3,1} = \frac{Max(3,26; 4,167)}{2} = 2,084$$

$$AsMinInf1V_{4,1} = \frac{Max(13,24; 12,035)}{2} = 6,62$$

$$AsMinInfV_{1,1} = Max(2,50 ; 0,369; 0,179) = 2,50$$

$$AsMinInfV_{2,1} = Max(3,50 ; 0,879; 1,758) = 3,50$$

$$AsMinInfV_{3,1} = Max(3,50 ; 1,042; 2,084) = 3,50$$

$$AsMinInfV_{4,1} = Max(5,50 ; 3,31; 6,62) = 6,62$$

$$AsMinInfV_1 = Max(2,50 ; 3,50; 3,50; 6,62) = 6,62$$

### **Paso 9**

Se le asignará como acero corrido superior 3 cabillas de 5/8 de pulgada en la capa 1 por lo que:

$$NCab4SupC1V_1 = 0$$

$$NCab5SupC1V_1 = 3$$

$$NCab6SupC1V_1 = 0$$

$$NCab7SupC1V_1 = 0$$

$$NCab8SupC1V_1 = 0$$

$$NCab11SupC1V_1 = 0$$

$$NCabSupC1V_1 = 0 + 3 + 0 + 0 + 0 + 0 = 3$$

$$NCab4SupC2V_1 = 0$$

$$NCab5SupC2V_1 = 0$$

$$NCab6SupC2V_1 = 0$$

$$NCab7SupC2V_1 = 0$$

$$NCab8SupC2V_1 = 0$$

$$NCab11SupC2V_1 = 0$$

$$NCabSupC2V_1 = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0$$

$$BAsSupC1V_1 = (2 \times 5)$$

$$+ \{0 \times 1,27 + 3 \times 1,588 + 0 \times 1,905 + 0 \times 2,222 + 0 \times 2,54 + 0 \times 3,581\} + \{2.5 \times (3 - 1)\} = 19,764$$

Se verifica que:

$$19,764 \leq (30; 30; 30; 30)$$

Por lo que:

$$AsColSupC1V_1 = 5,94$$

$$BAsSupC2V_1 = (2 \times 5)$$

$$+ \{0 \times 1,27 + 0 \times 1,588 + 0 \times 1,905 + 0 \times 2,222 + 0 \times 2,54 + 0 \times 3,581\} + \{2.5 \times (0 - 1)\} = 7,5$$

Se verifica que:

$$7,5 \leq (30; 30; 30; 30)$$

Por lo que:

$$AsColSupC2V_1 = 0$$

$$AsColSupV_1 = 5,94 + 0 = 5,94$$

**Paso 10**

Se le asignará como acero corrido inferior 4 cabillas de 5/8 de pulgada en la capa 1 por lo que:

$$NCab4InfC1V_1 = 0$$

$$NCab5InfC1V_1 = 4$$

$$NCab6InfC1V_1 = 0$$

$$NCab7InfC1V_1 = 0$$

$$NCab8InfC1V_1 = 0$$

$$NCab11InfC1V_1 = 0$$

$$NCabInfC1V_1 = 0 + 4 + 0 + 0 + 0 + 0 = 4$$

$$NCab4InfC2V_1 = 0$$

$$NCab5InfC2V_1 = 0$$

$$NCab6InfC2V_1 = 0$$

$$NCab7InfC2V_1 = 0$$

$$NCab8InfC2V_1 = 0$$

$$NCab11InfC2V_1 = 0$$

$$NCabInfC2V_1 = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0$$

$$\begin{aligned} BAsInfC1V_1 &= (2 \times 5) \\ &+ \{0 \times 1,27 + 4 \times 1,588 + 0 \times 1,905 + 0 \times 2,222 + 0 \times 2,54 + 0 \\ &\times 3,581\} + \{2.5 \times (3 - 1)\} = 21,352 \end{aligned}$$

Se verifica que:

$$21,352 \leq (30; 30; 30; 30)$$

Por lo que:

$$AsCollInfC1V_1 = 7,92$$

$$\begin{aligned} BAsSupC2V_1 &= (2 \times 5) \\ &+ \{0 \times 1,27 + 0 \times 1,588 + 0 \times 1,905 + 0 \times 2,222 + 0 \times 2,54 + 0 \\ &\times 3,581\} + \{2.5 \times (0 - 1)\} = 7,5 \end{aligned}$$

Se verifica que:

$$7,5 \leq (30; 30; 30; 30)$$

Por lo que:

$$AsCollInfC2V_1 = 0$$

$$AsCollInfV_1 = 7,92 + 0 = 7,92$$

**Paso 11, 12 y 13**

Nivel $V_{ij}$	$V_{ij}$	$L_i$	AsSup $L_iV_{ij}$	AsAdSup $L_iV_{ij}$	AsInf $L_iV_{ij}$	AsAdInf $L_iV_{ij}$
NIVEL +3	B193	25	3.26	-2.68	1.611	-6.309
NIVEL +3	B193	74.286	1.347	-4.593	1.347	-6.573
NIVEL +3	B193	123.571	1.347	-4.593	1.946	-5.974
NIVEL +3	B193	172.857	1.347	-4.593	2.553	-5.367
NIVEL +3	B193	222.143	1.347	-4.593	2.309	-5.611
NIVEL +3	B193	271.429	1.347	-4.593	1.347	-6.573
NIVEL +3	B193	320.714	2.452	-3.488	1.347	-6.573
NIVEL +3	B193	370	4.167	-1.773	2.722	-5.198
NIVEL +3	B194	25	3.515	-2.425	1.867	-6.053
NIVEL +3	B194	75	0.974	-4.966	0.927	-6.993
NIVEL +3	B194	125	0.927	-5.013	2.265	-5.655
NIVEL +3	B194	175	0.927	-5.013	3.149	-4.771
NIVEL +3	B194	225	0.927	-5.013	3.153	-4.767
NIVEL +3	B194	275	0.927	-5.013	2.276	-5.644
NIVEL +3	B194	325	0.927	-5.013	0.927	-6.993
NIVEL +3	B194	375	3.515	-2.425	1.794	-6.126
NIVEL +3	B200	30	13.24	7.3	6.336	-1.584
NIVEL +3	B200	79.474	8.5	2.56	4.14	-3.78
NIVEL +3	B200	128.947	5.524	-0.416	4.14	-3.78
NIVEL +3	B200	178.421	4.14	-1.8	4.14	-3.78
NIVEL +3	B200	227.895	4.14	-1.8	5.524	-2.396
NIVEL +3	B200	277.368	4.14	-1.8	6.662	-1.258
NIVEL +3	B200	326.842	4.14	-1.8	8.537	0.617
NIVEL +3	B200	376.316	4.14	-1.8	9.984	2.064
NIVEL +3	B200	425.789	4.14	-1.8	10.98	3.06
NIVEL +3	B200	475.263	4.14	-1.8	11.504	3.584
NIVEL +3	B200	524.737	4.14	-1.8	11.546	3.626
NIVEL +3	B200	574.211	4.14	-1.8	11.106	3.186
NIVEL +3	B200	623.684	4.14	-1.8	10.192	2.272
NIVEL +3	B200	673.158	4.14	-1.8	8.822	0.902
NIVEL +3	B200	722.632	4.14	-1.8	7.021	-0.899
NIVEL +3	B200	772.105	4.14	-1.8	5.524	-2.396
NIVEL +3	B200	821.579	4.14	-1.8	4.14	-3.78
NIVEL +3	B200	871.053	5.229	-0.711	4.14	-3.78
NIVEL +3	B200	920.526	7.488	1.548	4.14	-3.78
NIVEL +3	B200	970	12.035	6.095	5.784	-2.136
NIVEL +3	B202	0	0	-5.94	0	-7.92
NIVEL +3	B202	37.5	0.355	-5.585	0.355	-7.565
NIVEL +3	B202	75	1.437	-4.503	0.713	-7.207

**Paso 14**

$$AsAdInfV_{1,1} = 0$$

$$AsAdInfV_{2,1} = 0$$

$$AsAdInfV_{3,1} = 0$$

$$AsAdInfV_{4,1} = 3,626$$

**Paso 15**

$$AsAdSupIzqV_{1,1} = \text{Max}(0; -5,94) = 0$$

$$AsAdSupDerV_{1,1} = \text{Max}(-4,503; -2,425) = -2,425 = 0$$

$$AsAdSupIzqV_{2,1} = \text{Max}(-4,503; -2,425) = -2,425 = 0$$

$$AsAdSupDerV_{2,1} = \text{Max}(-2,425; -2,68) = -2,425 = 0$$

$$AsAdSupIzqV_{3,1} = \text{Max}(-2,425; -2,68) = -2,425 = 0$$

$$AsAdSupDerV_{3,1} = \text{Max}(-1,773; 7,30) = 7,30$$

$$AsAdSupIzqV_{4,1} = \text{Max}(-1,773; 7,30) = 7,30$$

$$AsAdSupDerV_{4,1} = \text{Max}(6,095; 0) = 6,095$$

**Paso 16 (Acero superior)**

$$AsTSupIzqC1V_{1,1} = 5,94 + 0 = 5,94$$

$$AsTSupIzqC2V_{1,1} = 0 + 0 = 0$$

$$AsTSupIzqV_{1,1} = 5,94 + 0 = 5,94$$

$$AsTSupDerC1V_{1,1} = 5,94 + 0 = 5,94$$

$$AsTSupDerC2V_{1,1} = 0 + 0 = 0$$

$$AsTSupDerV_{1,1} = 5,94 + 0 = 5,94$$

$$AsTSupIzqC1V_{2,1} = 5,94 + 0 = 5,94$$

$$AsTSupIzqC2V_{2,1} = 0 + 0 = 0$$

$$AsTSupIzqV_{2,1} = 5,94 + 0 = 5,94$$

$$AsTSupDerC1V_{2,1} = 5,94 + 0 = 5,94$$

$$AsTSupDerC2V_{2,1} = 0 + 0 = 0$$

$$AsTSupDerV_{2,1} = 5,94 + 0 = 5,94$$

$$AsTSupIzqC1V_{3,1} = 5,94 + 0 = 5,94$$

$$AsTSupIzqC2V_{3,1} = 0 + 0 = 0$$

$$AsTSupIzqV_{3,1} = 5,94 + 0 = 5,94$$

Para el área de acero adicional superior derecho de la Viga 3,1 e izquierdo de la Viga 4,1 se colocarán 3 cabillas de 3/4 de pulgada, una en la capa 1 y dos en la capa 2.

$$NCabAd4SupDerC1V_{3,1} = 0$$

$$NCabAd5SupDerC1V_{3,1} = 0$$

$$NCabAd6SupDerC1V_{3,1} = 1$$

$$NCabAd7SupDerC1V_{3,1} = 0$$

$$NCabAd8SupDerC1V_{3,1} = 0$$

$$NCabAd11SupDerC1V_{3,1} = 0$$

$$NCabAdSupDerC1V_{3,1} = 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 = 1$$

$$NCabAd4SupDerC2V_{3,1} = 0$$

$$NCabAd5SupDerC2V_{3,1} = 0$$

$$NCabAd6SupDerC2V_{3,1} = 2$$

$$NCabAd7SupDerC2V_{3,1} = 0$$

$$NCabAd8SupDerC2V_{3,1} = 0$$

$$NCabAd11SupDerC2V_{3,1} = 0$$

$$NCabAdSupDerC2V_{3,1} = 0 + 0 + 2 + 0 + 0 + 0 = 2$$

$$BAsTSupDerC1V_{3,1}$$

$$\begin{aligned} &= (2 \times 5) + \{(0 + 0) \times 1,270\} + \{(3 + 0) \times 1,588\} + \{(0 + 1) \times 1,905\} \\ &+ \{(0 + 0) \times 2,222\} + \{(0 + 0) \times 2,54\} + \{(0 + 0) \times 3,581\} \\ &- \{2,5 \times ((3 + 1) - 1)\} = 24,169 \end{aligned}$$

Se verifica que:

$$24,169 \leq 30$$

$$AsTSupDerC1V_{3,1} = 5,94 + 2,85 = 8,79$$

$$BAsTSupDerC1V_{3,1}$$

$$\begin{aligned} &= (2 \times 5) + \{(0 + 0) \times 1,270\} + \{(0 + 0) \times 1,588\} + \{(0 + 2) \times 1,905\} \\ &+ \{(0 + 0) \times 2,222\} + \{(0 + 0) \times 2,54\} + \{(0 + 0) \times 3,581\} \\ &- \{2,5 \times ((0 + 2) - 1)\} = 16,31 \end{aligned}$$

Se verifica que:

$$16,31 \leq 30$$

$$AsTSupDerC2V_{3,1} = 0 + 5,70 = 5,70$$

$$AsTSupDerV_{3,1} = 8,79 + 5,70 = 14,49$$

$$NCabAd4SupIzqC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd5SupIzqC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd6SupIzqC1V_{4,1} = 1$$

$$NCabAd7SupIzqC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd8SupIzqC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd11SupIzqC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAdSupIzqC1V_{4,1} = 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 = 1$$

$$NCabAd4SupIzqC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd5SupIzqC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd6SupIzqC2V_{4,1} = 2$$

$$NCabAd7SupIzqC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd8SupIzqC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd11SupIzqC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAdSupIzqC2V_{4,1} = 0 + 0 + 2 + 0 + 0 + 0 = 2$$

$$BAsTSupIzqC1V_{4,1}$$

$$\begin{aligned} &= (2 \times 5) + \{(0 + 0) \times 1,270\} + \{(3 + 0) \times 1,588\} + \{(0 + 1) \times 1,905\} \\ &+ \{(0 + 0) \times 2,222\} + \{(0 + 0) \times 2,54\} + \{(0 + 0) \times 3,581\} \\ &- \{2,5 \times ((3 + 1) - 1)\} = 24,169 \end{aligned}$$

Se verifica que:

$$24,169 \leq 30$$

$$AsTSupIzqC1V_{4,1} = 5,94 + 2,85 = 8,79$$

$$BAstTSupIzqC2V_{4,1}$$

$$\begin{aligned} &= (2 \times 5) + \{(0 + 0) \times 1,270\} + \{(0 + 0) \times 1,588\} + \{(0 + 2) \times 1,905\} \\ &+ \{(0 + 0) \times 2,222\} + \{(0 + 0) \times 2,54\} + \{(0 + 0) \times 3,581\} \\ &- \{2,5 \times ((0 + 2) - 1)\} = 16,31 \end{aligned}$$

Se verifica que:

$$16,31 \leq 30$$

$$AsTSupIzqC2V_{4,1} = 0 + 5,70 = 5,70$$

$$AsTSupIzqV_{4,1} = 8,79 + 5,70 = 14,49$$

Para el área de acero adicional superior derecho de la Viga 4,1 se colocarán 3 cabillas de 3/4 de pulgada, una en la capa 1 y dos en la capa 2.

$$NCabAd4SupDerC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd5SupDerC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd6SupDerC1V_{4,1} = 1$$

$$NCabAd7SupDerC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd8SupDerC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd11SupDerC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAdSupDerC1V_{4,1} = 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 = 1$$

$$NCabAd4SupDerC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd5SupDerC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd6SupDerC2V_{4,1} = 2$$

$$NCabAd7SupDerC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd8SupDerC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd11SupDerC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAdSupIzqC2V_{4,1} = 0 + 0 + 2 + 0 + 0 + 0 = 2$$

$$BAsTSupDerC1V_{4,1}$$

$$\begin{aligned} &= (2 \times 5) + \{(0 + 0) \times 1,270\} + \{(3 + 0) \times 1,588\} + \{(0 + 1) \times 1,905\} \\ &+ \{(0 + 0) \times 2,222\} + \{(0 + 0) \times 2,54\} + \{(0 + 0) \times 3,581\} \\ &- \{2,5 \times ((4 + 1) - 1)\} = 24,169 \end{aligned}$$

Se verifica que:

$$24,169 \leq 30$$

$$AsTSupDerC1V_{4,1} = 5,94 + 2,85 = 8,79$$

$$BAsTSupDerC2V_{4,1}$$

$$\begin{aligned} &= (2 \times 5) + \{(0 + 0) \times 1,270\} + \{(0 + 0) \times 1,588\} + \{(0 + 2) \times 1,905\} \\ &+ \{(0 + 0) \times 2,222\} + \{(0 + 0) \times 2,54\} + \{(0 + 0) \times 3,581\} \\ &- \{2,5 \times ((0 + 2) - 1)\} = 16,31 \end{aligned}$$

Se verifica que:

$$16,31 \leq 30$$

$$AsTSupDerC2V_{4,1} = 0 + 5,70 = 5,70$$

$$AsTSupDerV_{4,1} = 8,79 + 5,70 = 14,49$$

**Paso 16 (Acero inferior)**

$$AsTInfC1V_{1,1} = 7,92 + 0 = 7,92$$

$$AsTInfC2V_{1,1} = 0 + 0 = 0$$

$$AsTInfV_{1,1} = 7,92 + 0 = 7,92$$

$$AsTInfC1V_{2,1} = 7,92 + 0 = 7,92$$

$$AsTInfC2V_{2,1} = 0 + 0 = 0$$

$$AsTInfV_{2,1} = 7,92 + 0 = 7,92$$

$$AsTInfC1V_{3,1} = 7,92 + 0 = 7,92$$

$$AsTInfC2V_{3,1} = 0 + 0 = 0$$

$$AsTInfV_{3,1} = 7,92 + 0 = 7,92$$

Para el área de acero adicional inferior de la Viga 4,1 se colocarán 2 cabillas de 5/8 de pulgada en la capa 2.

$$NCabAd4InfC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd5InfC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd6InfC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd7InfC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd8InfC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd11InfC1V_{4,1} = 0$$

$$NCabAdInfC1V_{4,1} = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0$$

$$NCabAd4InfC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd5InfC2V_{4,1} = 2$$

$$NCabAd6InfC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd7InfC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd8InfC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAd11InfC2V_{4,1} = 0$$

$$NCabAdInfC2V_{4,1} = 0 + 2 + 0 + 0 + 0 + 0 = 2$$

$$BAsTInfC1V_{4,1}$$

$$\begin{aligned} &= (2 \times 5) + \{(0 + 0) \times 1,270\} + \{(4 + 0) \times 1,588\} + \{(0 + 0) \times 1,905\} \\ &+ \{(0 + 0) \times 2,222\} + \{(0 + 0) \times 2,54\} + \{(0 + 0) \times 3,581\} \\ &- \{2,5 \times ((4 + 0) - 1)\} = 21,352 \end{aligned}$$

Se verifica que:

$$21,352 \leq 30$$

$$AsTInfC1V_{4,1} = 7,92 + 0 = 7,92$$

$$BAstInfC2V_{4,1}$$

$$\begin{aligned} &= (2 \times 5) + \{(0 + 0) \times 1,270\} + \{(0 + 2) \times 1,588\} + \{(0 + 0) \times 1,905\} \\ &+ \{(0 + 0) \times 2,222\} + \{(0 + 0) \times 2,54\} + \{(0 + 0) \times 3,581\} \\ &- \{2,5 \times ((0 + 2) - 1)\} = 15,676 \end{aligned}$$

Se verifica que:

$$15,676 \leq 30$$

$$AstInfC2V_{4,1} = 0 + 3,96 = 0$$

$$AstInfV_{4,1} = 7,92 + 3,96 = 11,88$$

**Paso 17**

$$Pmin = \frac{14}{4200} = 0,0033$$

**Paso 18**

$$PSupV_{1,1} = \frac{Max(5,94; 5,94)}{30 \times (30 - 5)} = 0,008$$

$$0,0033 \leq 0,008 \leq 0,0125$$

$$PInfV_{1,1} = \frac{7,92}{30 \times (30 - 5)} = 0,011$$

$$0,0033 \leq 0,011 \leq 0,0125$$

$$PSupV_{2,1} = \frac{Max(5,94; 5,94)}{30 \times (40 - 5)} = 0,006$$

$$0,0033 \leq 0,006 \leq 0,0125$$

$$PInfV_{2,1} = \frac{7,92}{30 \times (40 - 5)} = 0,008$$

$$0,0033 \leq 0,008 \leq 0,0125$$

$$PSupV_{3,1} = \frac{Max(5,94; 14,49)}{30 \times (40 - 5)} = 0,014$$

$$0,0033 \leq 0,014 \leq 0,0125$$

$$PInfV_{3,1} = \frac{7,92}{30 \times (40 - 5)} = 0,008$$

$$0,0033 \leq 0,008 \leq 0,0125$$

$$PSupV_{4,1} = \frac{Max(14,49; 14,49)}{30 \times (60 - 5)} = 0,009$$

$$0,0033 \leq 0,009 \leq 0,0125$$

$$PInfV_{4,1} = \frac{11,88}{30 \times (60 - 5)} = 0,007$$

$$0,0033 \leq 0,007 \leq 0,0125$$

### **Paso 19**

$$DbSupV_{1,1} = 1,588$$

$$DbInfV_{1,1} = 1,588$$

$$DbSupV_{2,1} = 1,588$$

$$DbInfV_{2,1} = 1,588$$

$$DbSupV_{3,1} = 1,905$$

$$DbInfV_{3,1} = 1,588$$

$$DbSupV_{4,1} = 1,905$$

$$DbInfV_{4,1} = 1,588$$

$$GanchoSupIzqV_1 = 12 \times 1,588 = 19,06$$

$$GanchoInflzqV_1 = 12 \times 1,588 = 19,06$$

$$GanchoSupDerV_1 = 12 \times 1,905 = 22,86$$

$$GanchoInfDerV_1 = 12 \times 1,588 = 19,06$$

### Paso 20

Como  $BC_{1,1}=0$

$$19,06 \leq 30 - 2 \times 5 = 20$$

$$19,06 \leq 30 - 2 \times 5 = 20$$

Como  $BC_{4,1} \neq 0$  no se chequea la longitud del gancho.

### Paso 21

Como  $BC_{1,1} = 0$  no se chequea la longitud de anclaje

Como  $BC_{4,1} \neq 0$  se chequea la longitud de anclaje:

$$LdhSupDerV_1 = \text{Max} \left\{ 8 \times 1,905; \frac{1,905 \times 4200}{17,2 \times \sqrt{250}}; 15 \right\} = 29,420$$

$$LdhInfDerV_1 = \text{Max} \left\{ 8 \times 1,588; \frac{1,588 \times 4200}{17,2 \times \sqrt{250}}; 15 \right\} = 24,525$$

$$LdisDerV_1 = 60 - 5 = 55$$

Se verifica que:

$$55 \geq (29,42; 24,525)$$

**Paso 22**

Como  $HV_{1,1} \neq HV_{2,1}$  entonces:

$$LdhInfDerV_{1,1} = \text{Max} \left\{ 8 \times 1,588; \frac{1,588 \times 4200}{17,2 \times \sqrt{250}}; 15 \right\} = 24,525$$

$$LdisInfDerV_{1,1} = 50 - 5 = 45$$

$$24,525 \leq 45$$

$$LdhInfIzqV_{2,1} = \text{Max} \left\{ 8 \times 1,588; \frac{1,588 \times 4200}{17,2 \times \sqrt{250}}; 15 \right\} = 24,525$$

$$LdisInfIzqV_{2,1} = 50 - 5 = 45$$

$$24,525 \leq 45$$

Como  $HV_{3,1} \neq HV_{4,1}$  entonces:

$$LdhInfDerV_{3,1} = \text{Max} \left\{ 8 \times 1,588; \frac{1,588 \times 4200}{17,2 \times \sqrt{250}}; 15 \right\} = 24,525$$

$$LdisInfDerV_{3,1} = 60 - 5 = 55$$

$$24,525 \leq 55$$

$$LdhInfIzqV_{4,1} = \text{Max} \left\{ 8 \times 1,588; \frac{1,588 \times 4200}{17,2 \times \sqrt{250}}; 15 \right\} = 24,525$$

$$LdisInfIzqV_{4,1} = 60 - 5 = 55$$

$$24,525 \leq 55$$

**Paso 23**

$$LnV_{1,1} = 1 \times 100 - (0 + 25) = 75$$

$$\frac{75}{30} = 2,50$$

$$LcfV_{1,1} = 30$$

$$LnV_{2,1} = 4 \times 100 - (25 + 25) = 350$$

$$\frac{350}{40} = 8,75$$

$$LcfV_{2,1} = \frac{40}{6} \times \left( \frac{350}{40} + 2 \right) = 71,667$$

$$LnV_{3,1} = 4 \times 100 - (25 + 30) = 345$$

$$\frac{345}{40} = 8,625$$

$$LcfV_{3,1} = \frac{40}{6} \times \left( \frac{345}{40} + 2 \right) = 70,833$$

$$LnV_{4,1} = 10 \times 100 - (30 + 30) = 940$$

$$\frac{940}{60} = 15,667$$

$$LcfV_{4,1} = 2 \times 60 = 120$$

**Paso 24**

$$MaxHV_1 = Max\{30; 40; 40; 60\} = 60$$

Como:

$$60 - 5 \geq 30$$

Entonces:

$$LdesSup4V_j = Max \left\{ \left( \frac{0,283 \times 4200}{\sqrt{250}} \right) \times \left[ \frac{1,3 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\frac{2,5}{1,27}} \right] \times 1,27 ; 30 \right\} = 50,44$$

$$LdesSup5V_j = Max \left\{ \left( \frac{0,283 \times 4200}{\sqrt{250}} \right) \times \left[ \frac{1,3 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\frac{2,5}{1,588}} \right] \times 1,588 ; 30 \right\} = 78,86$$

$$LdesSup6V_j = Max \left\{ \left( \frac{0,283 \times 4200}{\sqrt{250}} \right) \times \left[ \frac{1,3 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\frac{2,5}{1,905}} \right] \times 1,905 ; 30 \right\} = 113,49$$

$$LdesSup7V_j = Max \left\{ \left( \frac{0,283 \times 4200}{\sqrt{250}} \right) \times \left[ \frac{1,3 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2,5}{2,222}} \right] \times 2,222 ; 30 \right\} = 193$$

$$LdesSup8V_j = Max \left\{ \left( \frac{0,283 \times 4200}{\sqrt{250}} \right) \times \left[ \frac{1,3 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2,5}{2,540}} \right] \times 2,540 ; 30 \right\} = 252,20$$

$$LdesSup11V_j = Max \left\{ \left( \frac{0,283 \times 4200}{\sqrt{250}} \right) \times \left[ \frac{1,3 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2,5}{3,581}} \right] \times 3,581 ; 30 \right\} = 501,28$$

$$LdesInf4V_j = Max \left\{ \left( \frac{0,283 \times 4200}{\sqrt{250}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\frac{2,5}{1,27}} \right] \times 1,27 ; 30 \right\} = 48,50$$

$$LdesInf5V_j = Max \left\{ \left( \frac{0,283 \times 4200}{\sqrt{250}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\frac{2,5}{1,588}} \right] \times 1,588 ; 30 \right\} = 75,83$$

$$LdesInf6V_j = Max \left\{ \left( \frac{0,283 \times 4200}{\sqrt{250}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 0,8 \times 1}{\frac{2,5}{1,905}} \right] \times 1,905 ; 30 \right\} = 109,12$$

$$LdesInf7V_j = Max \left\{ \left( \frac{0,283 \times 4200}{\sqrt{250}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2,5}{2,222}} \right] \times 2,222 ; 30 \right\} = 148,46$$

$$LdesInf8V_j = Max \left\{ \left( \frac{0,283 \times 4200}{\sqrt{250}} \right) \times \left[ \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2,5}{2,540}} \right] \times 2,540 ; 30 \right\} = 194$$

$$LdesInf11V_j = Max \left\{ \left( \frac{0,283 \times 4200}{\sqrt{250}} \right) \times \left[ \frac{1,3 \times 1 \times 1 \times 1}{\frac{2,5}{3,581}} \right] \times 3,581 ; 30 \right\} = 385,60$$

**Paso 25**

$$DbAdSupV_{1,1} = Max\{0\} = 0$$

$$DbAdInfV_{1,1} = Max\{0\} = 0$$

$$DbAdSupV_{2,1} = Max\{0\} = 0$$

$$DbAdInfV_{2,1} = Max\{0\} = 0$$

$$DbAdSupV_{3,1} = Max\{1,905\} = 1,905$$

$$DbAdInfV_{3,1} = Max\{0\} = 0$$

$$DbAdSupV_{4,1} = Max\{1,905\} = 1,905$$

$$DbAdInfV_{4,1} = Max\{1,588\} = 1,588$$

$$dSupV_{1,1} = Max\{12 \times 0; (30 - 5)\} = 25$$

$$dInfV_{1,1} = Max\{12 \times 0; (30 - 5)\} = 25$$

$$dSupV_{2,1} = Max\{12 \times 0; (40 - 5)\} = 35$$

$$dInfV_{2,1} = Max\{12 \times 0; (40 - 5)\} = 35$$

$$dSupV_{3,1} = \text{Max}\{12 \times 1,905; (40 - 5)\} = 35$$

$$dInfV_{3,1} = \text{Max}\{12 \times 0; (40 - 5)\} = 35$$

$$dSupV_{4,1} = \text{Max}\{12 \times 1,905; (60 - 5)\} = 55$$

$$dInfV_{4,1} = \text{Max}\{12 \times 1,588; (60 - 5)\} = 55$$

## Paso 26

### Paso 26.1

Dado que  $BC_{1,t}=0$  entonces:

$$X_{-1} = -\left(1 - \frac{5}{100}\right) = -0,95$$

$$HX_{-1} = 30$$

$$X_0 = 0$$

$$X_1 = 0 + \left(\frac{25 + 71,667}{100}\right) = 0,967$$

$$HX_1 = 40$$

$$X_2 = 0 + \frac{4}{2} = 2$$

$$X_3 = 0 + 4 - \frac{25 + 71,667}{100} = 3,033$$

$$HX_3 = 40$$

$$X_4 = 0 + 4 = 4$$

$$X_5 = 4 + \left(\frac{25 + 70,833}{100}\right) = 4,958$$

$$HX_5 = 40$$

$$X_6 = 4 + \frac{4}{2} = 6$$

$$X_7 = 4 + 4 - \frac{30 + 70,833}{100} = 6,992$$

$$HX_7 = 40$$

$$X_8 = 4 + 4 = 8$$

$$X_9 = 8 + \left( \frac{30 + 120}{100} \right) = 9,50$$

$$HX_9 = 60$$

$$X_{10} = 8 + \frac{10}{2} = 13$$

$$X_{11} = 8 + 10 - \frac{30 + 120}{100} = 16,50$$

$$HX_{11} = 60$$

$$X_{12} = 8 + 10 = 18$$

**Paso 26.2**

$$Lc_1 = \frac{19,06}{100} - (-0,95) = 1,141$$

$$Lc_2 = 1,141 + (2 - 0) = 2,141$$

Como  $Lc_2 \leq 12$  entonces:

$$Lc_3 = 2,141 + (6 - 2) = 4,141$$

Como  $Lc_3 \leq 12$  entonces:

$$Lc_4 = 4,141 + (13 - 6) = 11,141$$

Como  $X_{12}$  es el último tramo se chequea  $Lc_5$  con esta distancia más el gancho.

$$Lc_5 = 11,141 + (18 - 13) + \frac{22,86}{100} = 16,37$$

Como  $Lc_5 > 12$  entonces:

Si:

$$11,141 + \frac{78,86}{100} = 11,93 \leq 12$$

Entonces:

$$LongC1Sup = 11,141 + \frac{78,86}{100} = 11,93$$

$$X_{inicial_{c2}} = 8$$

Como  $X_{10}$  es el último tramo se chequea  $Lc_1$  con esta distancia más el gancho.

$$Lc_1 = 0 + (18 - 13) + \frac{22,86}{100} = 5,229$$

$$LongC2Sup = 0 + (18 - 13) + \frac{22,86}{100} = 5,229$$

### **Paso 26.3**

$$Lc_1 = -(-0,95) + \frac{19,06}{100} = 1,141$$

Como  $HX_{.1} \neq HX_1$

$$Lc_2 = 1,141 + \frac{25 - 5}{100} + \frac{12 \times 1,588}{100} = 1,532$$

$$LongC1Inf = 1,141 + \frac{25 - 5}{100} + \frac{12 \times 1,588}{100} = 1,532$$

$$Xinicial_{c2} = 0 - \frac{(50 - 25)}{100} = -0,25$$

$$Lc_1 = (0 - (-0,25)) + \frac{12 \times 1,588}{100} = 0,441$$

$$Lc_2 = 0,441 + (0,967 - 0) = 1,408$$

Como  $Lc_2 \leq 12$  y  $HX_1 = HX_3$

$$Lc_3 = 1,408 + (3,033 - 0,967) = 3,474$$

Como  $Lc_3 \leq 12$  y  $HX_3 = HX_5$  entonces:

$$Lc_4 = 3,474 + (4,958 - 3,033) = 5,399$$

Como  $Lc_4 \leq 12$  y  $HX_5 = HX_7$  entonces:

$$Lc_5 = 5,399 + (6,992 - 4,958) = 7,433$$

Como  $Lc_5 \leq 12$  y  $HX_7 \neq HX_9$  entonces:

$$Lc_6 = 7,433 + (8 - 6,992) + \frac{30 - 5}{100} + \frac{12 \times 1,588}{100} = 8,882$$

Como  $Lc_6 \leq 12$  entonces:

$$LongC2Inf = 7,433 + (8 - 6,992) + \frac{30 - 5}{100} + \frac{12 \times 1,588}{100} = 8,882$$

$$Xinicial_{c3} = 8 - \frac{(60 - 30)}{100} = 7,70$$

$$Lc_1 = (8 - 7,70) + \frac{12 \times 1,588}{100} = 0,491$$

$$Lc_2 = 0,491 + (9,50 - 8) = 1,991$$

Como  $Lc_2 \leq 12$  y  $HX_9 = HX_{11}$

$$Lc_2 = 1,991 + (16,50 - 9,50) = 8,991$$

Como  $X_{12}$  es el último tramo se chequea  $Lc_3$  con esta distancia más el gancho.

$$Lc_3 = 8,991 + (18 - 16,50) + \frac{19,06}{100} = 10,682$$

Como  $Lc_3 \leq 12$

$$LongC3Inf = 8,991 + (18 - 16,50) + \frac{19,06}{100} = 10,682$$

### **Paso 27**

#### **Paso 27.1**

$$AsVlZqV_{1,1} = 0,031$$

$$AsVDerV_{1,1} = 0,061$$

$$AsVlZqV_{2,1} = 0,025$$

$$AsVDerV_{2,1} = 0,025$$

$$AsVlZqV_{3,1} = 0,025$$

$$AsVDerV_{3,1} = 0,025$$

$$AsVlZqV_{4,1} = 0,064$$

$$AsVDerV_{4,1} = 0,062$$

$$Ve1lZqV_{1,1} = 0,031 \times 0,85 \times 4200 \times (30 - 5) + \frac{0,85 \times 0,53 \times \sqrt{250}}{30 \times (30 - 5)} = 2766,76$$

$$Ve1DerV_{1,1} = 0,061 \times 0,85 \times 4200 \times (30 - 5) + \frac{0,85 \times 0,53 \times \sqrt{250}}{30 \times (30 - 5)} = 5444,26$$

$$Ve1V_{1,1} = \text{Max}\{2766,76; 5444,26\} = 5444,26$$

$$a11V_{1,1} = \frac{0 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 0$$

$$a12V_{1,1} = \frac{0 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 0$$

$$a13V_{1,1} = \frac{1,437 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 1,183$$

$$a14V_{1,1} = \frac{0,713 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 0,587$$

$$Mpr11V_{1,1} = 0 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (30 - 5) - \frac{0}{2} \right] = 0$$

$$Mpr12V_{1,1} = 0 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (30 - 5) - \frac{0}{2} \right] = 0$$

$$Mpr13V_{1,1} = 1,437 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (30 - 5) - \frac{1,183}{2} \right] = 184143,83$$

$$Mpr14V_{1,1} = 0,713 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (30 - 5) - \frac{0,587}{2} \right] = 92482,61$$

$$Vhp11V_{1,1} = \frac{0 + 92482,61}{75} = 1233,10$$

$$Vhp12V_{1,1} = \frac{0 + 184143,83}{75} = 2455,25$$

$$Vhp1V_{1,1} = \text{Min}\{1233,10; 2455,25\} = 1233,10$$

$$V0V_{1,1} = 5444,26 - 2455,25 = 2989,01$$

$$Ve1IzqV_{2,1} = 0,025 \times 0,85 \times 4200 \times (40 - 5) + \frac{0,85 \times 0,53 \times \sqrt{250}}{30 \times (40 - 5)} = 3123,76$$

$$Ve1DerV_{2,1} = 0,025 \times 0,85 \times 4200 \times (40 - 5) + \frac{0,85 \times 0,53 \times \sqrt{250}}{30 \times (40 - 5)} = 3123,76$$

$$Ve1V_{2,1} = \text{Max}\{3123,76; 3123,76\} = 3123,76$$

$$a11V_{2,1} = \frac{3,515 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 2,895$$

$$a12V_{2,1} = \frac{1,867 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 1,538$$

$$a13V_{2,1} = \frac{3,515 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 2,895$$

$$a14V_{2,1} = \frac{1,867 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 1,538$$

$$Mpr11V_{2,1} = 3,515 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{2,895}{2} \right] = 619169,45$$

$$Mpr12V_{2,1} = 1,867 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{1,538}{2} \right] = 335523,70$$

$$Mpr13V_{2,1} = 3,515 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{2,895}{2} \right] = 619169,45$$

$$Mpr14V_{2,1} = 1,867 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{1,538}{2} \right] = 335523,70$$

$$Vhp11V_{2,1} = \frac{619169,45 + 335523,70}{350} = 2727,69$$

$$Vhp12V_{2,1} = \frac{335523,70 + 619169,45}{350} = 2727,69$$

$$Vhp1V_{2,1} = \text{Min}\{2727,69; 2727,69\} = 2727,69$$

$$V0V_{2,1} = 3123,76 - 2727,69 = 396,07$$

$$Ve1IzqV_{3,1} = 0,025 \times 0,85 \times 4200 \times (40 - 5) + \frac{0,85 \times 0,53 \times \sqrt{250}}{30 \times (40 - 5)} = 3123,76$$

$$Ve1DerV_{3,1} = 0,025 \times 0,85 \times 4200 \times (40 - 5) + \frac{0,85 \times 0,53 \times \sqrt{250}}{30 \times (40 - 5)} = 3123,76$$

$$Ve1V_{3,1} = \text{Max}\{3123,76; 3123,76\} = 3123,76$$

$$a11V_{3,1} = \frac{3,26 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 2,685$$

$$a12V_{3,1} = \frac{1,611 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 1,327$$

$$a13V_{3,1} = \frac{4,167 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 3,432$$

$$a14V_{3,1} = \frac{2,722 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 2,242$$

$$Mpr11V_{3,1} = 3,26 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{2,685}{2} \right] = 576048,11$$

$$Mpr12V_{3,1} = 1,611 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{1,327}{2} \right] = 290409,53$$

$$Mpr13V_{3,1} = 4,167 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{3,432}{2} \right] = 728145,75$$

$$Mpr14V_{3,1} = 2,722 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{2,242}{2} \right] = 484147,85$$

$$Vhp11V_{3,1} = \frac{576048,11 + 484147,85}{345} = 3073,03$$

$$Vhp12V_{3,1} = \frac{290409,53 + 728145,75}{345} = 2952,33$$

$$Vhp1V_{3,1} = \text{Min}\{3073,03; 2952,33\} = 2952,33$$

$$VOV_{3,1} = 3123,76 - 2952,33 = 171,43$$

$$Ve1IzqV_{4,1} = 0,064 \times 0,85 \times 4200 \times (60 - 5) + \frac{0,85 \times 0,53 \times \sqrt{250}}{30 \times (60 - 5)} = 12566,4$$

$$Ve1DerV_{4,1} = 0,062 \times 0,85 \times 4200 \times (60 - 5) + \frac{0,85 \times 0,53 \times \sqrt{250}}{30 \times (60 - 5)} = 12173,7$$

$$Ve1V_{4,1} = \text{Max}\{12566,4; 12173,7\} = 12566,4$$

$$a11V_{3,1} = \frac{13,24 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 10,904$$

$$a12V_{3,1} = \frac{6,336 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 5,218$$

$$a13V_{3,1} = \frac{12,035 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 9,911$$

$$a14V_{3,1} = \frac{5,784 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 4,763$$

$$Mpr11V_{4,1} = 13,24 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (60 - 5) - \frac{10,904}{2} \right] = 3444081,48$$

$$Mpr12V_{4,1} = 6,336 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (60 - 5) - \frac{5,218}{2} \right] = 1742734,22$$

$$Mpr13V_{4,1} = 12,035 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (60 - 5) - \frac{9,911}{2} \right] = 3161999,18$$

$$Mpr14V_{4,1} = 5,784 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (60 - 5) - \frac{4,763}{2} \right] = 1597813,37$$

$$Vhp11V_{4,1} = \frac{3444081,48 + 1597813,37}{940} = 5363,72$$

$$Vhp12V_{4,1} = \frac{1742734,22 + 3161999,18}{940} = 5217,80$$

$$Vhp1V_{4,1} = \text{Min}\{5363,72; 5217,80\} = 5217,80$$

$$VOV_{4,1} = 12566,4 - 5217,80 = 7348,60$$

**Paso 27.2**

$$a_{21V_{1,1}} = \frac{5,94 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 4,89$$

$$a_{22V_{1,1}} = \frac{7,92 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 6,52$$

$$a_{23V_{1,1}} = \frac{5,94 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 4,89$$

$$a_{24V_{1,1}} = \frac{7,92 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 6,52$$

$$M_{pr21V_{1,1}} = 5,94 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (30 - 5) - \frac{4,89}{2} \right] = 703377,68$$

$$M_{pr22V_{1,1}} = 7,92 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (30 - 5) - \frac{6,52}{2} \right] = 903949,20$$

$$M_{pr23V_{1,1}} = 5,94 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (30 - 5) - \frac{4,89}{2} \right] = 703377,68$$

$$M_{pr24V_{1,1}} = 7,92 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (30 - 5) - \frac{6,52}{2} \right] = 903949,20$$

$$V_{hp21V_{1,1}} = \frac{703377,68 + 903949,20}{75} = 21431,03$$

$$V_{hp22V_{1,1}} = \frac{903949,20 + 703377,68}{75} = 21431,03$$

$$V_{hp2V_{1,1}} = \text{Max}\{21431,03; 21431,03\} = 21431,03$$

$$a_{21V_{2,1}} = \frac{5,94 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 4,89$$

$$a_{22V_{2,1}} = \frac{7,92 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 6,52$$

$$a_{23V_{2,1}} = \frac{5,94 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 4,89$$

$$a_{24V_{2,1}} = \frac{7,92 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 6,52$$

$$M_{pr21V_{2,1}} = 5,94 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{4,89}{2} \right] = 1015227,68$$

$$M_{pr22V_{2,1}} = 7,92 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{6,52}{2} \right] = 1319749,20$$

$$M_{pr23V_{2,1}} = 5,94 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{4,89}{2} \right] = 1015227,68$$

$$M_{pr24V_{2,1}} = 7,92 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{6,52}{2} \right] = 1319749,20$$

$$V_{hp21V_{2,1}} = \frac{1015227,68 + 1319749,20}{350} = 6671,36$$

$$V_{hp22V_{2,1}} = \frac{1319749,20 + 1015227,68}{350} = 6671,36$$

$$V_{hp2V_{2,1}} = \text{Max}\{6671,36; 6671,36\} = 6671,36$$

$$a_{21V_{3,1}} = \frac{5,94 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 4,89$$

$$a_{22V_{3,1}} = \frac{7,92 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 6,52$$

$$a_{23V_{3,1}} = \frac{14,49 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 11,93$$

$$a_{24V_{3,1}} = \frac{7,92 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 6,52$$

$$M_{pr21V_{3,1}} = 5,94 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{4,89}{2} \right] = 1015227,68$$

$$Mpr22V_{3,1} = 7,92 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{6,52}{2} \right] = 1319749,20$$

$$Mpr23V_{3,1} = 14,49 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{11,93}{2} \right] = 2208765,04$$

$$Mpr24V_{3,1} = 7,92 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (40 - 5) - \frac{6,52}{2} \right] = 1319749,20$$

$$Vhp21V_{3,1} = \frac{1015227,68 + 1319749,20}{345} = 6768,05$$

$$Vhp22V_{3,1} = \frac{1319749,20 + 2208765,04}{345} = 10227,58$$

$$Vhp2V_{3,1} = \text{Max}\{6768,05; 10227,58\} = 10227,58$$

$$a21V_{4,1} = \frac{14,49 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 11,93$$

$$a22V_{4,1} = \frac{7,92 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 6,52$$

$$a23V_{4,1} = \frac{14,49 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 11,93$$

$$a24V_{4,1} = \frac{7,92 \times 1,25 \times 4200}{0,85 \times 250 \times 30} = 6,52$$

$$Mpr21V_{4,1} = 14,49 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (60 - 5) - \frac{11,93}{2} \right] = 3730215,04$$

$$Mpr22V_{4,1} = 7,92 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (60 - 5) - \frac{6,52}{2} \right] = 2151349,20$$

$$Mpr23V_{4,1} = 14,49 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (60 - 5) - \frac{11,93}{2} \right] = 3730215,04$$

$$Mpr24V_{4,1} = 7,92 \times 1,25 \times 4200 \times \left[ (60 - 5) - \frac{6,52}{2} \right] = 2151349,20$$

$$V_{hp21V_{4,1}} = \frac{3730215,04 + 2151349,20}{940} = 6256,98$$

$$V_{hp22V_{4,1}} = \frac{2151349,20 + 3730215,04}{940} = 6256,98$$

$$V_{hp2V_{4,1}} = \text{Max}\{6256,98; 6256,98\} = 6256,98$$

### **Paso 27.3**

Como  $BC_{1,i} = 0$  entonces:

$$V_{e2V_{1,1}} = 2989,01$$

$$V_{e2V_{2,1}} = 6671,36 + 396,07 = 7067,43$$

$$V_{e2V_{3,1}} = 10227,58 + 171,43 = 10399,01$$

$$V_{e2V_{4,1}} = 6256,98 + 7348,60 = 13605,58$$

### **Paso 28**

Se ingresa por el sistema las siguientes variables:

$$DestV_{1,1} = 0,953$$

$$AestV_{1,1} = 0,71$$

$$NramasV_{1,1} = 2$$

$$DestV_{2,1} = 0,953$$

$$AestV_{2,1} = 0,71$$

$$NramasV_{1,1} = 2$$

$$DestV_{3,1} = 0,953$$

$$AestV_{3,1} = 0,71$$

$$NramasV_{3,1} = 2$$

$$DestV_{4,1} = 0,953$$

$$AestV_{4,1} = 0,71$$

$$NramasV_{4,1} = 2$$

## Paso 29

### Paso 29.1

$$AvV_{1,1} = 0,71 \times 2 = 1,42$$

$$AvV_{2,1} = 0,71 \times 2 = 1,42$$

$$AvV_{3,1} = 0,71 \times 2 = 1,42$$

$$AvV_{4,1} = 0,71 \times 2 = 1,42$$

$$VsV_{1,1} = \frac{2989,01}{0,85} - \frac{0,85 \times 0,53 \times \sqrt{250}}{30 \times (30 - 5)} = 3516,47$$

$$ScV_{1,1} = \frac{1,42 \times 4200 \times (30 - 5)}{3516,47} = 42,40$$

$$VsV_{2,1} = \frac{7067,43}{0,85} - \frac{0,85 \times 0,53 \times \sqrt{250}}{30 \times (40 - 5)} = 8314,61$$

$$ScV_{2,1} = \frac{1,42 \times 4200 \times (40 - 5)}{8314,61} = 25,11$$

$$VsV_{3,1} = \frac{10399,01}{0,85} - \frac{0,85 \times 0,53 \times \sqrt{250}}{30 \times (40 - 5)} = 12234,12$$

$$ScV_{3,1} = \frac{1,42 \times 4200 \times (40 - 5)}{12234,12} = 17,06$$

$$VsV_{4,1} = \frac{13605,58}{0,85} - \frac{0,85 \times 0,53 \times \sqrt{250}}{30 \times (60 - 5)} = 16006,56$$

$$ScV_{4,1} = \frac{1,42 \times 4200 \times (60 - 5)}{16006,56} = 20,49$$

**Paso 29.2**

$$DbMinLongV_1 = 1,588$$

$$SvV_{1,1} = \text{Min} \left\{ \frac{30 - 5}{4}; (8 \times 1,588); (24 \times 0,953); 30 \right\} = 6,25$$

$$SvV_{2,1} = \text{Min} \left\{ \frac{40 - 5}{4}; (8 \times 1,588); (24 \times 0,953); 30 \right\} = 8,75$$

$$SvV_{3,1} = \text{Min} \left\{ \frac{40 - 5}{4}; (8 \times 1,588); (24 \times 0,953); 30 \right\} = 8,75$$

$$SvV_{4,1} = \text{Min} \left\{ \frac{60 - 5}{4}; (8 \times 1,588); (24 \times 0,953); 30 \right\} = 12,70$$

**Paso 29.3**

$$SestZcV_{1,1} = \text{Min}\{42,40; 6,25\} = 6,25$$

$$SestZcV_{2,1} = \text{Min}\{25,11; 8,75\} = 8,75$$

$$SestZcV_{3,1} = \text{Min}\{17,06; 8,75\} = 8,75$$

$$SestZcV_{4,1} = \text{Min}\{20,49; 12,70\} = 12,70$$

**Paso 29.4**

$$SestZncV_{1,1} = \text{Min} \left\{ 42,40; \frac{30 - 5}{2} \right\} = 6,25$$

$$SestZncV_{2,1} = \text{Min} \left\{ 25,11; \frac{40 - 5}{2} \right\} = 17,50$$

$$SestZncV_{3,1} = \text{Min} \left\{ 17,06; \frac{40 - 5}{2} \right\} = 17,06$$

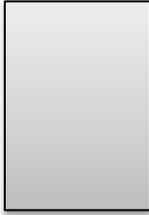
$$SestZncV_{4,1} = \text{Min} \left\{ 20,49; \frac{60 - 5}{2} \right\} = 20,49$$

## **APÉNDICE C**

### **COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA OBTENER EL ÁREA MÍNIMA DE ACERO CORRIDO EN LA CARA DE LOS APOYOS**

Ejemplo 1

V30X60



$$As_{min} = \frac{14}{4200} \times 30 \times 55 = 5,50 \text{ cm}^2$$

- a) Dividiendo directamente el área de acero obtenida de ETABS:

$$As^{-}_{cara}/4 = 14,602/4 = \mathbf{3,65 \text{ cm}^2}$$

- b) Obteniendo el momento resistente a partir de área de acero, dividir el mismo entre 4 y calcular el área de acero nuevamente:

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

$$\text{Sustituyendo } \rho = \frac{As}{bd} \rightarrow Mu = \phi As d f_y \left( 1 - 0.59 \frac{As f_y}{bd f'_c} \right)$$

$$Mu^{-}_{cara} = 0.90 \times 14.602 \times 55 \times 4200 \times \left( 1 - 0.59 \times \frac{14.602}{30 \times 55} \times \frac{4200}{250} \right)$$

$$Mu^{-}_{cara} = 2769464.78 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$\frac{Mu^{-}_{cara}}{4} = 692366.20 \text{ kg} * \text{cm}$$

Despejando  $As$  de la ecuación de momento queda la siguiente ecuación cuadrática:

$$\frac{0.59 \phi As^2 f_y^2}{b x f'_c} - \phi d f_y As + Mu = 0$$

$$\frac{0.59 \times 0.90 \times As^2 \times 4200^2}{30 \times 250} - 0.90 \times 55 \times 4200 \times As + 692366.20 = 0$$

$$As_1 = 163.065 \text{ cm}^2$$

$$As_2 = \mathbf{3.40 \text{ cm}^2}$$

Ejemplo 2

V30X65



$$As_{min} = \frac{14}{4200} \times 30 \times 60 = 6.00 \text{ cm}^2$$

a) Dividiendo directamente el área de acero obtenida de ETABS:

$$As_{cara}^- / 4 = 11.606 / 4 = \mathbf{2.90 \text{ cm}^2}$$

b) Obteniendo el momento resistente a partir de área de acero, dividir el mismo entre 4 y calcular el área de acero nuevamente:

$$Mu_{cara}^- = 0.90 \times 11.606 \times 60 \times 4200 \times \left( 1 - 0.59 \times \frac{11.606}{30 \times 60} \times \frac{4200}{250} \right)$$

$$Mu_{cara}^- = 2464013.31 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$\frac{Mu_{cara}^-}{4} = 616003.33 \text{ kg} * \text{cm}$$

Despejando  $As$  de la ecuación de momento queda la siguiente ecuación cuadrática:

$$\frac{0.59 \phi As^2 fy^2}{bxf'c} - \phi d fy As + Mu = 0$$

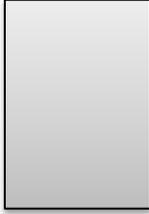
$$\frac{0.59 \times 0.90 \times As^2 \times 4200^2}{30 \times 250} - 0.90 \times 60 \times 4200 \times As + 616003.33 = 0$$

$$As_1 = 178.84 \text{ cm}^2$$

$$As_2 = \mathbf{2.76 \text{ cm}^2}$$

Ejemplo 3

V35X45



$$As_{min} = \frac{14}{4200} \times 35 \times 40 = 4.67 \text{ cm}^2$$

a) Dividiendo directamente el área de acero obtenida de ETABS:

$$As_{cara}^- / 4 = 1.50 / 4 = \mathbf{0.375 \text{ cm}^2}$$

b) Obteniendo el momento resistente a partir de área de acero, dividir el mismo entre 4 y calcular el área de acero nuevamente:

$$Mu_{cara}^- = 0.90 \times 1.50 \times 40 \times 4200 \times \left( 1 - 0.59 \times \frac{1.50}{35 \times 40} \times \frac{4200}{250} \right)$$

$$Mu_{cara}^- = 224391.38 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$\frac{Mu_{cara}^-}{4} = 56097.85 \text{ kg} * \text{cm}$$

Despejando  $As$  de la ecuación de momento queda la siguiente ecuación cuadrática:

$$\frac{0.59 \phi As^2 f_y^2}{b x f' c} - \phi d f_y As + Mu = 0$$

$$\frac{0.59 \times 0.90 \times As^2 \times 4200^2}{35 \times 250} - 0.90 \times 40 \times 4200 \times As + 56097.85 = 0$$

$$As_1 = 140.87 \text{ cm}^2$$

$$As_2 = \mathbf{0.372 \text{ cm}^2}$$

## **APÉNDICE D**

### **MANUAL DEL USUARIO DEL PROGRAMA DE ARMADO DE VIGAS PAV**