MANUAL DE UNIFICACIÓN DE CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE VIGAS Y VIGUETAS EN CONCRETO PARA EDIFICACIONES EN COLOMBIA

TRABAJO DE GRADO

OPCIÓN DE GRADO: PASANTÍA

ANA MARÍA ESPEJO RIAÑO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - FAEDIS

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C. 2016

MANUAL DE UNIFICACIÓN DE CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE VIGAS Y VIGUETAS EN CONCRETO PARA EDIFICACIONES EN COLOMBIA

ANA MARÍA ESPEJO RIAÑO

CÓDIGO: D7301792

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al Título de Ingeniero Civil

Director:

Ing. ÁNGELA MARÍA PEDRAZA LUENGAS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - FAEDIS

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C. 2016

Aprobación

El trabajo de grado titulado “Manual de unificación de criterios para el diseño de vigas y viguetas en concreto para edificaciones en Colombia”, opción de pasantía, presentada por la estudiante Ana María Espejo Riaño en cumplimiento de los requisitos para optar al título de “Ingeniero Civil” fue aprobado por el Director:

_____

Ing. Ángela María Pedraza Luengas
Director Universidad Militar Nueva Granada

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre quien con su amor pleno y a pesar de las adversidades siempre ha luchado por estar mi lado apoyándome. También a mis amigos que han compartido conmigo a lo largo de tantos años grandes alegrías producto de una hermosa amistad.

Agradecimientos

Agradezco a la empresa PyP Proyectos S.A.S. quien auspició el desarrollo del presente manual, y a la familia Palomino quienes a lo largo de estos últimos años me han dado la oportunidad de crecer personal y profesionalmente en su empresa.

Un agradecimiento especial a mi directora Ing. M.Sc. Ángela Maria Pedraza Luengas, quien desde el comienzo se dedicó plenamente al desarrollo de este trabajo, y al Ing. M.Sc. Mauricio Coronado Neira quien con su experiencia apoyo este proyecto en los momentos de mayor dificultad.

Resumen

El diseño de vigas y viguetas en concreto reforzado para edificaciones demanda el conocimiento de los requisitos consignados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, de la experiencia adquirida por las empresas colombianas dedicadas al diseño estructural, y de la construcción de edificaciones. Por ello, es de gran importancia generar un manual de unificación de criterios para el diseño de vigas y viguetas, donde la teoría y la práctica se combinan, con el fin de guiar a los ingenieros nuevos y antiguos sobre este trabajo en la empresa PyP Proyectos S.A.S.

Dicho manual fue escrito a partir de la consulta de los requerimientos del Título C de la NSR-10 sobre vigas y viguetas. También se consultó el manejo del programa utilizado en la empresa PyP Proyectos S.A.S, para el despiece de este tipo de elementos llamado DC-CAD, y por medio de reuniones con los ingenieros especialistas, se recopilaron los requisitos adicionales para el diseño de vigas y viguetas, con base en la experiencia de la empresa. Como resultados no solo se obtuvieron, de manera organizada, los requerimientos para el diseño de vigas y viguetas según la NSR-10, sino también se optimizó este trabajo, por medio de hojas de cálculo y archivos que pueden ser leídos por DC-CAD, lo cual aumenta los rendimientos de la empresa a la hora de diseñar este tipo de elementos.

En conclusión, el manual de unificación de criterios para el diseño de vigas y viguetas en concreto para edificaciones en Colombia, es un documento que satisface las necesidades de disminuir los tiempos de trabajo, y la incertidumbre

sobre como diseñar estos elementos en PyP Proyectos S.A.S, y de igual manera mejorar la imagen de organización que tiene la empresa ante sus clientes.

Tabla de Contenidos

1. Introducción 1
2. Definición del Problema 3
3. Objetivos 5
3.1 Objetivo General 5
3.2 Objetivos Específicos 5
4. Justificación 8
5. Resultados Esperados 10
6. Alcance 10
7. Delimitación 10
7.1 Geográfica 10
7.2 Cronológica 11
7.3 Conceptual 11
8. Marco Teórico y Estado del Arte 12
8.1 Diseño a Flexión de Vigas en Concreto Reforzado 12
8.1.1 Método de la resistencia última 12
8.1.2 Cuantía máxima y cuantía mínima 16
8.1.3 Coeficientes de mayoración de la carga y de reducción de la resistencia 18
8.2 Diseño a Cortante de Vigas en Concreto Reforzado 20
8.3 Longitudes de Desarrollo y Empalmes del Refuerzo 25
8.4 Requisitos de Diseño Sismoresistente 31
8.5 Detalles del Refuerzo 34
8.6 Estado del Arte 37
9. Metodología 39
10. Resultados 40
10.1 Procedimientos de Verificación 40
10.2 Empalmes por Traslapo 40
10.3 Librerías DC-CAD 40
10.4 Despieces de vigas en DC-CAD 42
10.5 P&P-MANUAL VIGAS Y VIGUETAS 43
11. Conclusiones 44
Lista de referencias 46

Lista de tablas

Tabla 1. Variaciones de k con f'c=21.1 Mpa y fy=420 Mpa. 20
Tabla 2. Expresiones para el cálculo de las longitudes de desarrollo. 27
Tabla 3. Requisitos para el diseño sismo resistente en vigas. 32
Tabla 4. Longitudes mininas de la extensión recta en ganchos. 35
Tabla 5. Diámetros mínimos de doblado. 36
Tabla 6. Recubrimientos de concreto. 37

Lista de figuras

Figura *1*. Árbol del problema.....4
Figura *2*. Distribución de esfuerzos para la carga ultima. 13
Figura *3*. Variaciones de α y β con la resistencia del concreto f'c. 14
Figura *4*. Cortante en vigas rectangulares homogéneas. 21
Figura *5*. Agrietamiento de tensión diagonal en vigas de concreto reforzado.....22
Figura *6*. Ubicación del refuerzo transversal en vigas rectangulares.....23
Figura *7*. Detalle de barras dobladas para desarrollar el gancho estándar.....29
Figura *8*. Estribos paralelos en nudos y estribos perpendiculares en apoyos simples o voladizos.....31

1. Introducción

El manual de unificación de criterios para el diseño de vigas y viguetas en concreto para edificaciones en Colombia, es un documento guía que le permite al ingeniero ir paso a paso en el aprendizaje, y el reconocimiento de los requisitos para diseñar este tipo de elementos. Dicho manual es de gran importancia para la empresa PyP Proyectos S.A.S, en su búsqueda de reducir los tiempos de trabajo, uniformizar los procedimientos de diseño, y generar una imagen de organización ante sus clientes.

En el primer capítulo “Procedimientos de Verificación”, a través de diversas hojas de cálculo, se exponen temas fundamentales que se deben conocer antes de diseñar una viga o vigueta, como lo son: Cuantías, cantidad de refuerzo, ganchos estándar y longitudes de desarrollo. Del segundo al cuarto capítulo, se han consignado los requerimientos que se deben cumplir en el diseño de vigas y viguetas, según la capacidad de disipación de energía de la estructura a la cual pertenezcan, es decir DMO, DES o DMI. También se han generado, para estos casos, hojas de cálculo que se dividen en secciones de diseño a flexión y diseño a cortante, y que le permiten al usuario visualizar rápidamente el cumplimiento de la norma NSR-10.

En el quinto capítulo, “Reconocimiento del Programa DC-CAD”, se expone la manera en que la empresa PyP Proyectos S.A.S hace uso de este programa. Se explica cómo crear un archivo con solicitaciones para que sea leído por DC-CAD, y en general, se hace énfasis en los archivos externos generados en el desarrollo

de este manual, que le permitirán al usuario incrementar su rendimiento a la hora de detallar el refuerzo de vigas y viguetas.

Por último, el capítulo “Requerimientos Adicionales”, es una recopilación de las recomendaciones derivadas de la experiencia de la empresa PyP Proyectos S.A.S, de los casos que se presentan con mayor frecuencia en sus diseños, como por ejemplo: Vigas con primera y segunda etapa, vigas con refuerzo en las caras laterales, vigas con refuerzo en paquete y en segunda fila, entre otros.

2. Definición del Problema

PyP Proyectos S.A.S. es una empresa dedicada al diseño estructural de edificaciones con más de 30 años de experiencia, que actualmente les brinda a los profesionales recién egresados del programa de ingeniería civil con un alto nivel académico, la oportunidad de iniciar su vida laboral con la empresa. Dada esta circunstancia, los coordinadores encargados de los grupos de trabajo, deben emplear tiempo dentro de sus tareas para transmitir sus conocimientos a los nuevos ingenieros sobre las metodologías de diseño en la empresa; sin embargo, los criterios de diseño de cada ingeniero son diferentes, porque existen diversas formas de solucionar un mismo problema. Es por ello que no hay uniformidad en los procesos de despiece de vigas y viguetas, generando incertidumbre en los ingenieros que, con o sin experiencia, tiene la incertidumbre sobre la forma en que se suele hacer este trabajo en la oficina de diseño, pues no hay un documento escrito, completo y controlado.

Por otro lado, dentro de la bibliografía actual sobre este tema y en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), no se encuentra en un solo capítulo los requerimientos para el diseño de miembros individuales como los son las vigas y las viguetas, lo que hace necesario la redacción de un manual donde se organice esta información, y se unifiquen los criterios de diseño de vigas y viguetas en la empresa PyP Proyectos S.A.S.

Bajo este contexto, se plantea el siguiente problema:

"Diferentes criterios de los ingenieros para realizar despieces de vigas y viguetas, que no permite la unificación en el desarrollo de dicho trabajo en la empresa PyP Proyectos S.A.S".

De acuerdo con esta situación, el interrogante principal del proyecto propuesto se define como:

Según el Titulo C del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), la conveniencia económica y constructiva, y otras bibliografías ¿Cuál es la metodología óptima para realizar el diseño de vigas y viguetas en concreto para edificaciones utilizando el programa DC-CAD?

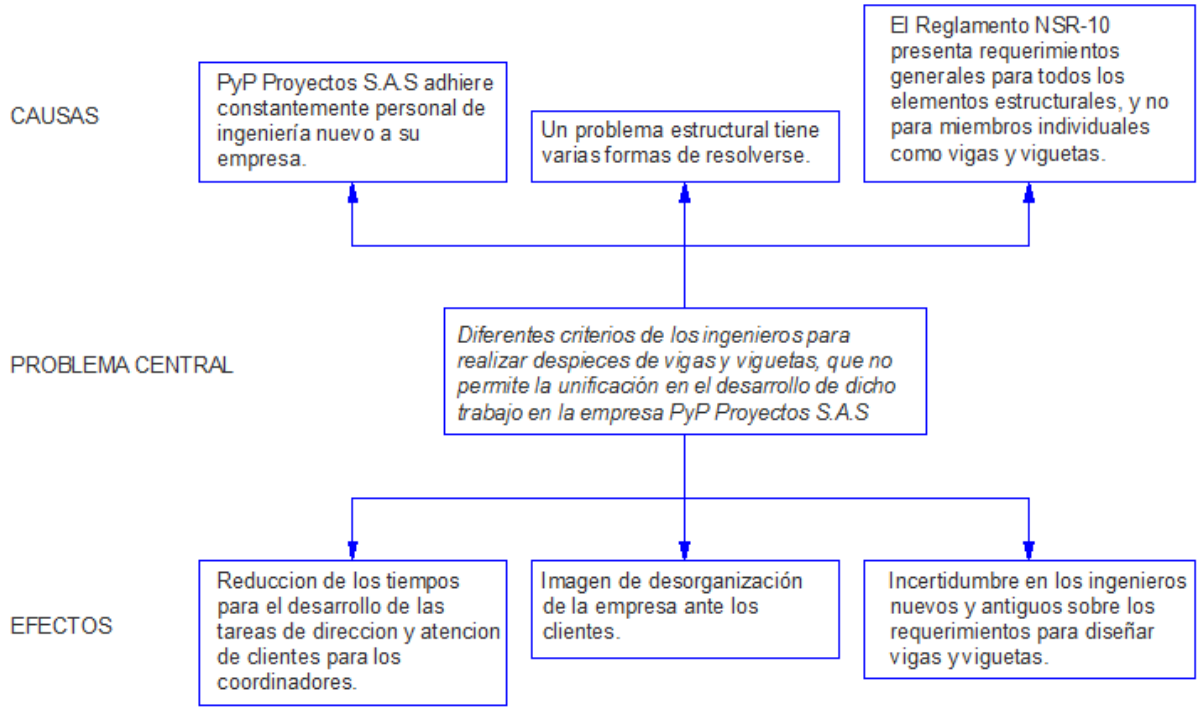


Figura *1*. Árbol del problema
Fuente: Elaboración propia

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Generar un manual de unificación de criterios para el diseño de vigas y viguetas en concreto reforzado para edificaciones en la empresa PyP Proyectos S.A.S, con base en el Titulo C del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) y otras bibliografías, con el fin de tener un documento guía de diseño de vigas y viguetas para los ingenieros nuevos y antiguos sobre este trabajo en la empresa.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los requerimientos para el diseño a flexión, el diseño a cortante, longitudes de desarrollo, detalles del refuerzo y diseño sismo resistente de vigas y viguetas en concreto, descritos en el Titulo C del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), a través de la lectura del mismo y otras bibliografías, con el fin de clasificar dichos requerimientos según los grados de disipación de energía de las estructuras, léase DMI, DMO y DES.

- Recopilar las consideraciones o requerimientos adicionales que según la experiencia de la empresa PyP Proyectos S.A.S, se deben tener en cuenta en la generación de despieces de vigas especiales, como lo son vigas con primera y segunda etapa de construcción y vigas con cambio de sección, a

través de reuniones con el tutor encargado en PyP Proyectos S.A.S donde se discutan estos temas, con el fin de adicionar dichos requerimientos en el manual de unificación de criterios.

- Estandarizar los procedimientos de verificación previos que se deben tener en cuenta antes de la realización de cualquier despiece de viga, por medio de la creación de hojas de cálculo donde se puedan consultar temas como el predimensionamiento de las secciones de las vigas, las cuantías mínimas y máximas de refuerzo en vigas, la longitud de los traslapos y ganchos estándar del refuerzo, la separación de las barras de refuerzo superficial para vigas con alturas mayores de 900mm, y demás temas que puedan surgir en el desarrollo del presente trabajo, para obtener todos los datos necesarios requeridos por el programa DC-CAD en la creación de despieces de vigas.

- Entender el funcionamiento del programa DC- CAD para diseñar vigas y viguetas, a través de la lectura del manual que sumista la compra del programa y de tutoriales disponibles, con el fin de redactar un capítulo del manual de unificación de criterios llamado “Reconocimiento del programa DC-CAD”, enfocado a la comprensión de la interfaz y los datos de entrada y de salida que requiere el programa.

- Generar despieces de vigas y viguetas en DC-CAD con base en los proyectos que maneja PyP Proyectos S.A.S que tengan las características de DMI, DMO y DES, con diferentes tipos de secciones y geometrías, para utilizarlos como ejemplos en el manual de unificación de criterios.

- Redactar los diversos capítulos del manual de unificación de criterios, a partir de la investigación previamente realizada, y de imágenes obtenidas del proceso de generación de despieces en el programa DC-CAD, con el fin de dar solución al problema planteado en el presente trabajo.

4. Justificación

La unificación de criterios para el diseño de elementos estructurales es importante para PyP Proyectos S.A.S, no solo para generar una imagen de organización ante sus clientes, sino también para garantizar mejores rendimientos en la empresa y en la construcción misma de los proyectos. Con el manual, los coordinadores emplearán menos tiempo dando instrucciones a los ingenieros nuevos y antiguos sobre la realización de este trabajo, y al mismo tiempo se unificarán los criterios de diseño en toda la empresa.

Sin embargo, el manual no solo es un producto útil para PyP Proyectos S.A.S, sino también para los ingenieros que inician su vida laboral en el campo del diseño estructural; puesto que, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), no agrupa en un solo capitulo los requerimientos para miembros individuales como lo son las vigas y las viguetas, por el contrario los capítulos de dicho reglamento aplican para todos los elementos estructurarles según el esfuerzo al cual están sometidos, es decir, a esfuerzos por flexión, esfuerzos por cortante, esfuerzos por torsión, entre otros, generando así la incertidumbre de si a la hora de diseñar miembros individuales, se está teniendo en cuenta todos los requerimientos que exige la norma vigente.

La anterior problemática fue solucionada con el nuevo código americano ACI 318-14, norma en la cual se basa la NSR-10, donde se “reorganizó todo el código con el fin de presentar todos los requisitos de diseño y detallado, para sistemas estructurales y miembros individuales en capítulos independientes”

(American Concrete Institute, 2014, pág. 3). No obstante, la reorganización del reglamento colombiano se realizará hasta dentro de unos años, dando lugar al desarrollo de documentos donde se organice la información para el diseño de miembros individuales, como es el caso del manual de unificación de criterios para el diseño de vigas y viguetas, dando así una solución a corto plazo a esta problemática.

5. Resultados Esperados

Se espera que al finalizar el proyecto se obtenga un documento digital, donde se puedan consultar de manera ordenada los requisitos y consideraciones especiales, para diseñar vigas y viguetas en concreto típicas de edificaciones en Colombia, haciendo uso del programa de generación de despieces DC-CAD.

6. Alcance

El proyecto se enfoca en identificar los requerimientos para el diseño de vigas y viguetas en concreto, típicas de edificaciones en Colombia, que no transmiten cargas axiales, estipulados en el Titulo C del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), la experiencia propia de la empresa y otras bibliografías. Con el fin de generar un manual de unificación de criterios, que servirá como guía en la empresa PyP Proyectos S.A.S. para la realización del diseño de vigas y viguetas, utilizando el programa para la generación de despieces DC-CAD.

7. Delimitación

7.1 Geográfica

El trabajo de pasantía se realizó en una empresa dedicada al diseño estructural de edificaciones llamada PyP Proyectos S.A.S, localizada en la ciudad de Bogotá D.C. Colombia (Carrera 7 No. 75-51 Oficina 302). El tipo de edificaciones que la empresa diseña en su mayoría son torres de vivienda y oficinas de más de diez pisos, y centros comerciales a lo largo y ancho de todo el

país, por lo tanto el manual es aplicable para el diseño de vigas y viguetas de edificaciones en Colombia.

7.2 Cronológica

El desarrollo del proyecto de grado tuvo una duración de seis (6) meses en tiempo completo.

7.3 Conceptual

Los temas de investigación por medio de los cuales se desarrolló el proyecto son:

- Diseño de vigas a flexión
- Diseño de vigas a cortante
- Longitud de desarrollo y empalmes de refuerzo
- Requisitos de diseño sismo resistente
- Detalles del refuerzo (Recubrimientos, ganchos estándar, diámetros nominales, entre otros)

8. Marco Teórico y Estado del Arte

8.1 Diseño a Flexión de Vigas en Concreto Reforzado

8.1.1 Método de la resistencia última

El método reglamentado actualmente por la NSR-10 para el diseño de elementos estructurales sometidos a flexión es el método de la resistencia última, en donde el análisis de las estructuras está fundamentado en el conocimiento del instante de falla, con el fin de diseñar los elementos para soportar cargas adicionales a las cuales no estarán sometidos realmente, de tal manera que se logra aplicar un factor de seguridad al diseño de las estructuras. Lo anterior se consigue mayorando las cargas y reduciendo la resistencia de los elementos, por medio de la aplicación de coeficientes según se explicará más adelante.

Para analizar las estructuras en el instante de falla se hace necesario conocer el momento último que producirá tal efecto. Dado que la distribución de esfuerzos para el instante de falla en vigas rectangulares no tiene una forma geométrica definida, ya que ésta depende de las condiciones de los ensayos en cilindros, su geometría y la resistencia del concreto, se puede suponer cualquier forma geométrica, siempre y cuando se conozca la fuerza resultante total a compresión en el concreto, y su ubicación con respecto a la fibra extrema a compresión. A partir de lo expuesto anteriormente y con base en la siguiente

figura, se desarrollará el fundamento matemático que conlleva a la obtención de la formula general de la resistencia ultima o del momento actuante último.

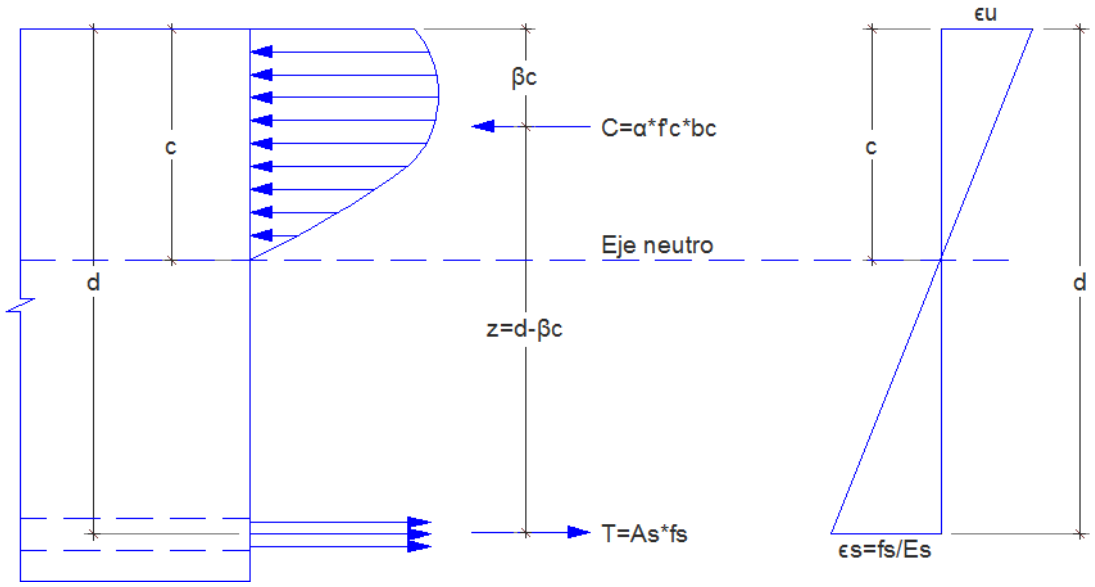


Figura *2*. Distribución de esfuerzos para la carga ultima.
Fuente: Nilson, 2001, p.71.

La figura representa la distribución de esfuerzos en la sección de una viga rectangular vista desde su cara longitudinal, donde en la parte superior del eje neutro se desarrollan esfuerzos de compresión y en la parte inferior esfuerzos de tracción, por lo tanto el área sujeta a esfuerzos de compresión es bc, donde b es el ancho de la viga y c es la distancia al eje neutro desde la fibra extrema a compresión. La fuerza total en el área de compresión entonces estará dada por (Nilson, 2001, pág. 71):

$$C = f_{av} bc$$

Donde "f_{av} es el esfuerzo promedio a compresión sobre el área bc" (Nilson, 2001, pág. 71). Dicho esfuerzo está relacionado directamente con la resistencia del concreto f'_c a partir de la siguiente expresión (Nilson, 2001, pág. 71):

$$\alpha = \frac{f_{av}}{f'_c}$$

Reemplazando f_{av} en la ecuación de la fuerza total en el área de compresión (Nilson, 2001, pág. 71):

$$C = \alpha f'_c bc$$

En la figura también se observa que la ubicación de la fuerza total a compresión es una fracción de la distancia al eje neutro representado por β, es decir que para desarrollar la teoría de flexión se deben conocer los valores que toma α y β según la resistencia del concreto f'_c. Dichos valores se han obtenido a partir de la experimentación directa e indirecta sobre vigas de concreto con diferentes resistencias, con lo cual se pudo construir la siguiente gráfica.

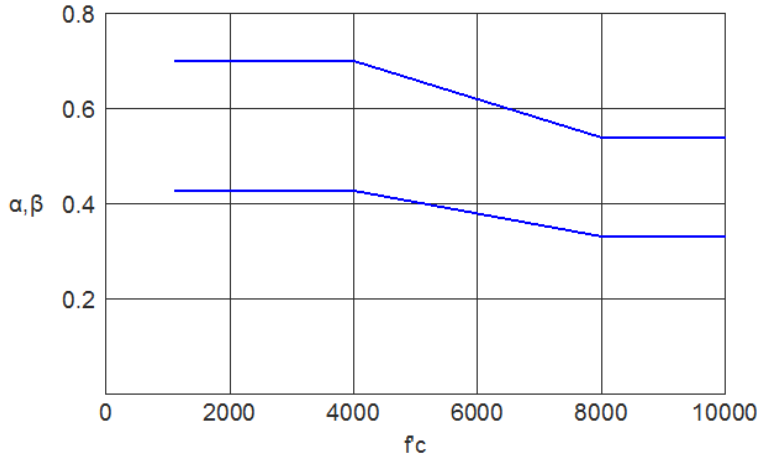


Figura *3*. Variaciones de α y β con la resistencia del concreto f'c.
Fuente: Nilson, 2001, p.72.

Con base en las leyes del equilibrio se acepta que la fuerza de compresión es igual a la fuerza de tracción, por lo tanto (Nilson, 2001, pág. 72):

$$C = T \qquad \alpha f'_c bc = A_s f_s$$

Según la figura de distribución de esfuerzos para carga última, los momentos flectores causados por las fuerzas de compresión y tracción serán (Nilson, 2001, pág. 72):

$$M = Cz = \alpha f'_c bc\,(d - \beta c)$$

$$M = Tz = A_s f_s\,(d - \beta c)$$

Cabe resaltar que d es la altura efectiva, o la distancia desde la fibra más comprimida hasta el centro del refuerzo.

Por otro lado, dado que la falla por compresión se presenta de manera súbita por aplastamiento del concreto, es mejor diseñar los elementos estructurales tipo viga para que fallen por tensión, ya que esta es una falla más controlada en donde se presentan agrietamientos y deflexiones visibles previos al colapso. De esta manera para la falla por tensión $f_s = f_y$, donde f_y es el esfuerzo de fluencia del acero, por lo tanto el momento último con el que se desarrollará la teoría de flexión es el momento generado por la fuerza de tensión.

Sabiendo que el área de refuerzo $A_s = \rho bd$, donde ρ es la cuantía de refuerzo o el área total de la sección transversal de las varillas ubicadas en la zona de tensión, se reemplaza f_s y A_s en la expresión de equilibrio de fuerzas (Nilson, 2001, pág. 72):

$$\alpha f'_c bc = \rho b d f_y$$

Entonces:

$$c = \frac{\rho b d f_y}{\alpha f'_c b} = \frac{\rho d f_y}{\alpha f'_c}$$

Por medio de la anterior expresión se puede obtener la distancia al eje neutro desde la fibra extrema a compresión.

De esta manera, reemplazando A_s, f_s y c en la ecuación del momento flector causado por la fuerza a tracción, se obtiene el momento actuante último (Nilson, 2001, pág. 72).

$$M_u = \rho b d f_y \left[d - \frac{\beta \rho d f_y}{\alpha f'_c} \right]$$

Organizando,

$$M_u = \rho f_y b d^2 \left[1 - \frac{\beta \rho f_y}{\alpha f'_c} \right]$$

Con los valores obtenidos de la gráfica de α y β se evidencia que $\beta/\alpha = 0.59$, por lo tanto la expresión de momento actuante último será (Nilson, 2001, pág. 72):

$$\boldsymbol{M_u = \rho f_y b d^2 \left[1 - 0.59 \frac{\rho f_y}{f'_c} \right]}$$

8.1.2 Cuantía máxima y cuantía mínima

Como se ha mencionado en el método de la resistencia ultima, los elementos estructurales tipo viga se deben diseñar de tal manera que fallen primero por tracción y luego por compresión, es decir que se deben diseñar

secciones sub-reforzadas. Con el fin de garantizar esta premisa se determinó que la cuantía en vigas debe encontrarse entre una cuantía mínima y una cuantía máxima. El refuerzo mínimo en vigas según la NSR-10 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C143) está dado por la siguiente expresión:

$$A_{smin} = \frac{0.25\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \geq \frac{1.4 b_w d}{f_y}$$

Donde, f_c' es la resistencia a la compresión de concreto, f_y es la resistencia a la fluencia del refuerzo, b_w es el ancho de la viga, y d la altura efectiva.

La cuantía máxima en la NSR-10 está definida por medio de la limitación en la deformación unitaria neta a tracción que es de 0.004 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C141). Sin embargo, como la finalidad de establecer una cantidad máxima de refuerzo es asegurar un nivel de comportamiento dúctil en el momento de la falla, la ecuación que se deriva de la anterior premisa y basada en la deformación unitaria neta a tracción, según el Reglamento NSR-10 es la siguiente: (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, págs. C469-C471):

$$\rho_{max} = 0.75\ (0.85\beta\ \frac{f_c'}{f_y}\ \frac{600}{600 + f_y})$$

Donde, β es una fracción de la distancia al eje neutro del esfuerzo a compresión (lo cual se ha llamado “c” en la anterior deducción de la fórmula para

el momento actuante ultimo), f_c' es la resistencia a la compresión de concreto, y f_y es la resistencia a la fluencia del refuerzo.

8.1.3 Coeficientes de mayoración de la carga y de reducción de la resistencia

La NSR-10 en su Título B (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. B6) estipula que los elementos estructurales deben analizarse para las condiciones de carga más desfavorables, por lo cual para cada tipo de carga (horizontal o vertical) existe un coeficiente de mayoración, que permite diseñar los elementos estructurales con un factor de seguridad apropiado en caso de presentarse cargas adicionales. Una de las combinaciones de carga más utilizada en el diseño estructural es la siguiente:

$$U = 1.2D + 1.6L$$

Donde, D es la carga muerta y L es la carga viva que debe soportar la estructura, en este caso los coeficientes de mayoración de la carga son 1.2 y 1.6. Actualmente, dichas combinaciones de carga son introducidas a los programas de modelación asistidos por computador como lo son Etabs y SAP, con el fin de analizar las estructuras y obtener los datos requeridos en los programas de generación de despieces, que en el caso de PyP Proyectos S.A.S. es DC-CAD.

Por otro lado, con respecto a la resistencia también se utiliza un factor en este caso de reducción, para tener en cuenta las posibles variaciones de las secciones de los elementos estructurales o de sus materiales en la vida real, que pueden llegar a afectar la resistencia de las estructuras. Dicho factor de reducción

para secciones controladas por tracción es $\varphi = 0.90$ (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C124), de esta manera la expresión del momento actuante último será:

$$\boldsymbol{\varphi M_u = \varphi \rho f_y b d^2 \left[1 - 0.59 \frac{\rho f_y}{f'_c}\right]}$$

Para simplificar el diseño de vigas rectangulares controladas por tracción a partir de la anterior ecuación, se puede hacer uso de la siguiente formula (Segura, 2011, pág. 76):

$$\varphi M_u = k b d^2$$

Donde $k = \varphi \rho f_y \left[1 - 0.59 \frac{\rho f_y}{f'_c}\right]$, esta expresión es tabulable para las diversas especificaciones de los materiales, con la cual se puede obtener la cuantía requerida y transformarla en acero de refuerzo A_s, teniendo en cuenta que dicha cuantía debe estar entre la cuantía mínima y la cuantía máxima, según la geometría y los materiales a utilizar en los elementos estructurales. A manera de ejemplo, se presentan los valores que toma k, si se utiliza un concreto de $f'_c = 21.1\ Mpa$ y un acero de refuerzo de $f_y = 420\ Mpa$.

Tabla 1. Variaciones de k con f'c=21.1 Mpa y fy=420 Mpa.
Fuente: Segura, 2011, p.577.

f'c= 21.1 Mpa			β1=0.85		
fy=420 Mpa					
Cuantia minima = 0.0033			Cuantia maxima = 0.01362		
ρ	a/d	j	K (KN/m²)	ΔK	k2
0.0010	0.0234	0.9883	376.6		0.0517
0.0020	0.0468	0.9766	738.2	364.6	0.0368
0.0030	0.0703	0.9649	1094.0	355.8	0.0302
0.0033	0.0781	0.9610	1210.6	116.6	0.0287
0.0040	0.0937	0.9532	1441.0	230.4	0.0263
0.0050	0.1171	0.9415	1779.0	338.0	0.0237
0.0060	0.1405	0.9298	2108.2	329.2	0.0218
0.0070	0.1639	0.9181	2428.5	320.3	0.0203
0.0080	0.1873	0.9064	2739.9	311.4	0.0191
0.0090	0.2108	0.8946	3042.4	302.5	0.0181
0.0100	0.2342	0.8829	3336.1	293.7	0.0173
0.0110	0.2576	0.8712	3620.8	284.7	0.0166
0.0120	0.2810	0.8595	3896.7	275.9	0.0160
0.0130	0.3044	0.8478	4163.8	267.1	0.0155
0.01362	0.3190	0.8405	4324.9	161.1	0.0152

8.2 Diseño a Cortante de Vigas en Concreto Reforzado

Anteriormente, se ha establecido que las vigas deben ser analizadas para garantizar su funcionamiento ante la presencia de esfuerzos por flexión. Sin embargo, las fallas a tracción y a compresión no son las únicas que se presentan en las estructuras, también existen fallas por cortante que se evidencian en el concreto en forma de agrietamientos a 45°, que inician muy cerca al eje neutro de las vigas; esto ocurre por la distribución de esfuerzos cortantes en las secciones tradicionales como se muestra en la siguiente figura, donde en el centro del elemento el esfuerzo cortante alcanza su máxima magnitud ,y en los extremos de la viga es igual a cero.

El promedio los esfuerzos cortantes en la altura de la sección está dado por la fuerza cortante (V) dividida en el área de dicha sección (ab), y su valor máximo es 1.5 el promedio de los esfuerzos. (Nilson, 2001, pág. 107).

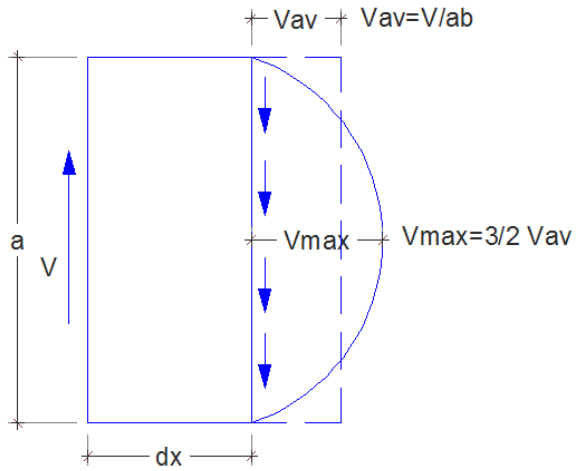


Figura *4*. Cortante en vigas rectangulares homogéneas.
Fuente: Nilson, 2001, p.107.

Dado que en cualquier punto de la viga excepto en el eje neutro no solo existen esfuerzos cortantes si no también los esfuerzos flectores, que se combinan generando los esfuerzos principales en el elemento que lo mantienen en equilibrio, es importante resaltar que los esfuerzos a tensión que se generan en las vigas no solo son producto de la flexión, sino también del cortante solo o de la combinación de cortante y flexión. Dichos esfuerzos son conocidos como esfuerzos a tensión diagonal, y son los causantes de los agrietamientos a 45° anteriormente mencionados.

Pueden existir diversas combinaciones de momentos y cortantes de magnitudes grandes o pequeñas, los cuales producen diferentes tipos de agrietamientos cuando se excede la resistencia a tensión del concreto, esto en el caso de que las vigas no estén reforzadas a cortante. Por ejemplo, un cortante grande con un momento flector pequeño conforma agrietamientos cercanos al eje neutro, llamados grietas de cortante en el alma que se presentan antes de las grietas de flexión. Por otro lado, cuando la fuerza cortante y el momento flector son grandes primero aparecerán las grietas por flexión en el elemento, luego se formara el agrietamiento por corte y finalmente, las dos grietas se unirán para formar una sola llamada grieta de flexión y cortante.

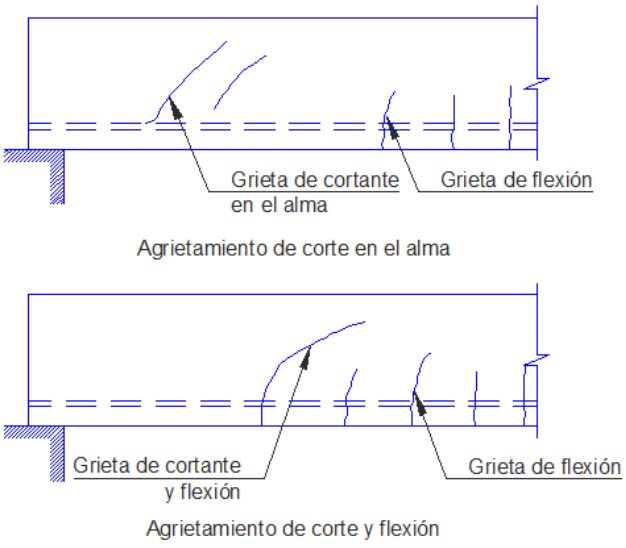


Figura *5*. Agrietamiento de tensión diagonal en vigas de concreto reforzado.
Fuente: Nilson, 2001, p.107

El análisis de los esfuerzos por tensión diagonal en las vigas es de gran importancia en el diseño de las mismas, puesto que el concreto no resiste grandes

magnitudes de este tipo de tensión, y es por ello que las vigas deben ser reforzadas con acero en su sección transversal, con el fin de complementar la resistencia al corte generada por el concreto.

Actualmente, el tipo de refuerzo más utilizado para generar la resistencia al corte en las vigas son los estribos, que no son más que barras de diámetros pequeños, que tienen la forma de la sección trasversal, y que se ubican alrededor del refuerzo longitudinal.

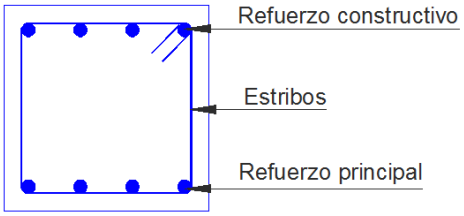


Figura *6*. Ubicación del refuerzo transversal en vigas rectangulares.
Fuente: Elaboración Propia.

La NSR-10 brinda los parámetros para el diseño a cortante en las secciones críticas de los elementos tipo viga, expresando que la resistencia nominal al cortante es la suma de la resistencia nominal al corte proporcionada por el concreto, y la resistencia nominal al corte proporcionada por el refuerzo. El cálculo de la fuerza cortante mayorada debe realizarse en una distancia “d” (altura efectiva) medida desde la cara del apoyo, y el coeficiente de reducción φ que debe utilizarse en el diseño a cortante es 0.75 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C165).

$$\varphi V_n = \varphi V_c + \varphi V_s$$

En ese orden de ideas, la resistencia proporcionada por el concreto está dada por (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C169):

$$\varphi V_c = \varphi 0.17 \sqrt{f_c'} b_w d$$

Donde, φ es el coeficiente de reducción 0.75, f_c' es la resistencia a la compresión de concreto, b_w es el ancho de la viga, y d la altura efectiva.

Según el tipo de refuerzo que se utilice para resistir el cortante, la fórmula de resistencia al corte proporcionada por el refuerzo varía, en el caso más común donde se utilizan estribos dicha resistencia se calcula de la siguiente manera (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C178):

$$\varphi V_s = V_u - \varphi V_c$$

$$\varphi V_s = \frac{\varphi A_v f_{yt} d}{s}$$

Donde, V_u es la fuerza cortante mayorada, φ es el coeficiente de reducción 0.75, A_v es el área de refuerzo a cortante, f_y es la resistencia a la fluencia del refuerzo a tracción, d es la altura efectiva, y s la separación entre estribos. En realidad la última formula se utiliza para hallar la separación entre estribos escogiendo un diámetro de refuerzo cualquiera (#3, #4 generalmente), que generará la resistencia al corte requerida según el cálculo de $\varphi V_s = V_u - \varphi V_c$.

Cabe aclarar que existe una separación máxima entre estribos que según la NSR-10 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C175) está dada por "$d/2$ o 600 mm, la que sea menor, pero si $\varphi V_s > \varphi 0.33 \sqrt{f_c'} b_w d$ los anteriores valores se reducen a la mitad".

Al igual que el refuerzo suministrado a flexión, el refuerzo por cortante también debe garantizar un área mínima de refuerzo, cuando V_u supera la mitad de φV_c, que según la NSR-10 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C177), se determina a partir de la siguiente expresión:

$$A_{vmin} = 0.062\sqrt{f_c'}\frac{b_w s}{f_{yt}} \geq \frac{0.35 b_w s}{f_{yt}}$$

Donde, f_c' es la resistencia a la compresión de concreto, b_w es el ancho de la viga, s la separación entre estribos, y f_{yt} es la resistencia a la fluencia de los estribos.

Nota: Es importante aclarar que las formulas presentadas anteriormente tanto para el diseño a flexión como para el diseño a cortante, se basan en la premisa de que las vigas y las viguetas no transmiten cargas axiales, como si es el caso de las columnas y los muros estructurales.

8.3 Longitudes de Desarrollo y Empalmes del Refuerzo

El funcionamiento de los elementos estructurales tipo viga fabricados con concreto reforzado, depende no solo de los análisis por flexión y cortante ya estudiados, sino también de la correcta interacción entre los materiales, es decir de las fuerzas de adherencia que deben existir entre el concreto y el acero, para garantizar un trabajo conjunto de los materiales que son quienes finalmente soportan las cargas. Para lograr que exista dicha adherencia entre los materiales, en el diseño estructural se deben tener en cuenta el cálculo de las longitudes del

acero, que permiten desarrollar las fuerzas de adherencia entre estos materiales, también llamadas longitudes de desarrollo, anclajes o traslapos según sea el caso.

La longitud de desarrollo se refiere a la distancia que debe extenderse el refuerzo más allá de las secciones críticas de las vigas, donde se encuentran los esfuerzos máximos. En los extremos de las vigas el refuerzo debe terminar en un gancho a 90° dentro del apoyo, y en las zonas de traslapo de las barras debe tenerse en cuenta una longitud mínima, donde se desarrolle la adherencia entre el acero y el concreto, con el fin de evitar fisuras longitudinales en dichas zonas de traslapo.

Para el cálculo de las longitudes de desarrollo la NSR-10 expone dos maneras de hacerlo, una eligiendo la formula con respecto a la siguiente tabla, y otra calculando de manera detallada las longitudes, por medio de la formula general variando los factores que la componen.

Tabla 2. Expresiones para el cálculo de las longitudes de desarrollo. Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo, 2010, p.C-218.

Espaciamiento y recubrimiento	Barras No. 6 (3/4") ó 20M (20 mm) o menores y alambres corrugados	Barras No. 7 (7/8") ó 22M (22 mm) y mayores
Espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo empalmados o desarrolladas no menor que db , recubrimiento libre no menor que db , y estribos a lo largo de ld no menos que el mínimo del Título C del Reglamento NSR-10 o espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo desarrolladas o empalmadas no menor a 2db y recubrimiento libre no menor a db	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2.1\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.7\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$
Otros casos	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.4\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.1\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$

Formula general para obtener la longitud de desarrollo (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C218):

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1.1\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)}\right) d_b, donde\ K_{tr} = \frac{40 A_{tr}}{sn}$$

Los factores involucrados en la anterior ecuación se definen a continuación:

- f_y es la es la resistencia a la fluencia del refuerzo longitudinal.
- λ es un factor de modificación con respecto al peso del concreto, si es concreto liviano $\lambda = 0.75$ y si es concreto de peso normal $\lambda = 1.0$.
- f_c' es la resistencia a la compresión de concreto.

- Ψ_t es un factor relacionado con la ubicación del refuerzo, si es superior $\Psi_t = 1.3$ y si es inferior $\Psi_t = 1.0$.
- Ψ_e es un factor relacionado con recubrimientos epóxicos en las barras, si existe recubrimiento con epóxico menor que 3db $\Psi_e = 1.5$, sino $\Psi_e = 1.0$.
- Nota: El producto de $\Psi_t \Psi_e$ no debe ser mayor que 1.7.
- Ψ_s es un factor que depende del diámetro de la barra, para refuerzo #6 o menor $\Psi_s = 0.8$, para refuerzo #7 o mayor $\Psi_s = 1.0$.
- c_b es la menor entre la distancia medida del centro de una barra a la superficie más cercana del concreto, o la mitad de la separación centro a centro de las barras que se desarrollan.
- K_{tr} es el índice del refuerzo transversal que se define a partir de A_{tr} que es el área del refuerzo transversal, s que es la separación del refuerzo transversal y n que es el número de barras que se desarrollan.
- d_b es el diámetro del refuerzo longitudinal que se desarrolla.
- Nota: $\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)$ no debe ser mayor que 2.5.

Independientemente, de cómo se obtenga el valor de la longitud de desarrollo esta no podrá ser menor que 300mm. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C218).

Por otro lado, se deben tener en cuenta los requerimientos adicionales que se exponen a continuación, los cuales dependen de si el refuerzo se desarrolla para

momento negativo o positivo (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, págs. C233-C236):

- *Por lo menos 1/3 del refuerzo para momento positivo en elementos simplemente apoyados y 1/4 del refuerzo para momento positivo en elementos continuos, se debe prolongar a lo largo de la misma cara del elemento hasta el apoyo. En las vigas, dicho refuerzo se debe prolongar, por lo menos 150 mm dentro del apoyo.*
- *Por lo menos 1/3 del refuerzo total por tracción en el apoyo proporcionado para resistir momento negativo debe tener una longitud embebida más allá del punto de inflexión, no menor que d , 12db o la longitud del vano divida 16 , la que sea mayor.*

Otra manera de desarrollar el refuerzo a tracción en el concreto es por medio de ganchos estándar dentro del primer y el último apoyo de las vigas. En este caso, la longitud de desarrollo se mide desde la sección crítica hasta el extremo del gancho, como lo indica la siguiente figura.

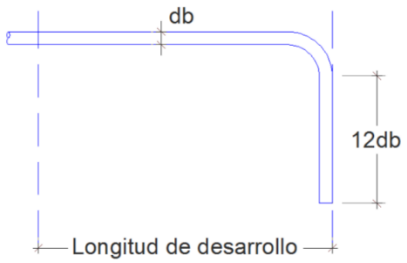


Figura 7. Detalle de barras dobladas para desarrollar el gancho estándar.
Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo, 2010, p.C-223.

El cálculo de la longitud de desarrollo para ganchos estándar se determina a partir de la siguiente ecuación (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C222):

$$l_{dh} = \left(\frac{0.24\Psi_e f_y}{\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$$

Donde, Ψ_e es un factor relacionado con recubrimientos epóxicos en las barras, si existe recubrimiento con epóxico $\Psi_e = 0.75$, de lo contrario $\Psi_e = 1.00$,f_y es la es la resistencia a la fluencia del refuerzo, λ es un factor de modificación con respecto al peso del concreto, si es concreto liviano $\lambda = 0.75$ y si es concreto de peso normal $\lambda = 1.0$, f_c' es la resistencia a la compresión de concreto, y d_b es el diámetro del refuerzo. Sin embargo l_{dh} no debe ser menor que el mayor de $8d_b$y 150mm.

En ocasiones la longitud de desarrollo no se cumple debido a que el ancho de las vigas es menor que dicha longitud, por lo tanto la norma permite multiplicar la longitud de desarrollo por los siguientes factores para disminuirla, según sea el caso (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C226):

a) *0.7: Para ganchos de barras No. 11 y menores, con recubrimiento lateral (normal al plano del gancho) no menor de 65 mm, y para ganchos de 90º, con recubrimiento en la extensión de la barra más allá del gancho no menor de 50 mm.*

b) *0.8: Para ganchos de 90º de barras No. 11 y menores que se encuentran confinados por estribos perpendiculares a la barra que se está desarrollando,*

espaciados a lo largo de l_{dh} a no más de 3db; o bien, rodeado con estribos paralelos a la barra que se está desarrollando y espaciados a no más de 3db a lo largo de la longitud de desarrollo del extremo del gancho más el doblez.

c) *0.8: Para ganchos de 180º de barra No. 11 (1-3/8") ó 36M (36 mm) y menores que se encuentran confinados con estribos perpendiculares a la barra que se está desarrollando, espaciados a no más de 3db a lo largo de l_{dh}.*

Sin embargo, dado los ensayos sobre fallas causadas por recubrimientos menores a 65 mm alrededor de los ganchos estándar, es preciso confinar la zona del gancho por medio de estribos paralelos o perpendiculares, separados como lo indica la siguiente figura, en este caso los factores (b) y (c) no deben aplicarse.

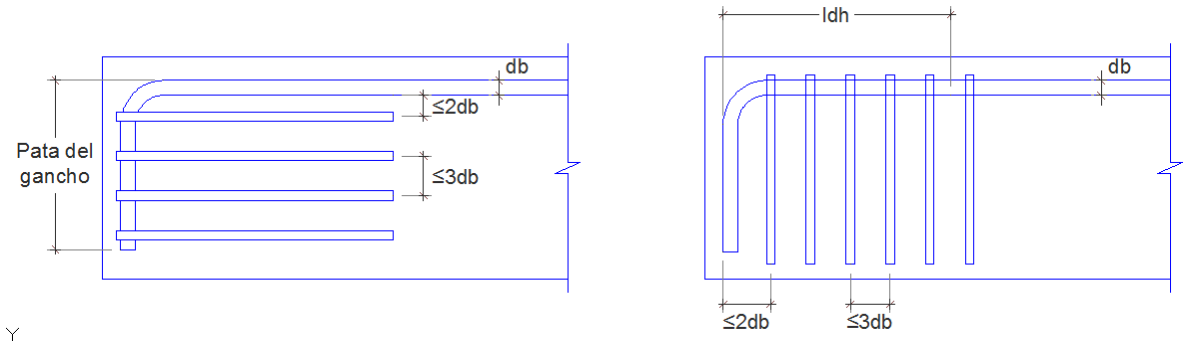


Figura *8*. Estribos paralelos en nudos y estribos perpendiculares en apoyos simples o voladizos.
Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo, 2010, p.C-223- C-224.

8.4 Requisitos de Diseño Sismoresistente

Las estructuras en Colombia se clasifican según su grado de disipación de energía en disipación de energía mínima (DMI), disipación de energía moderada (DMO) y disipación de energía especial (DES), que están directamente relacionados con las zonas de amenaza sísmica baja, intermedia y alta,

respectivamente. Según la anterior clasificación, la NSR-10 estipula los requisitos de diseño de cada tipo de estructura, con el fin de garantizar la resistencia sísmica de las edificaciones. A continuación se desarrolla un cuadro resumen de los requisitos que se deben tener en cuenta para el diseño sismoresistente de vigas, según el grado de disipación de energía (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C366).

Tabla 3. Requisitos para el diseño sismo resistente en vigas.
Fuente: Elaboración propia.

GRADO DE DISIPACION DE ENERGIA MINIMA (DMI)	
Cantidad de refuerzo	Mínimo dos barras longitudinales continuas arriba y abajo
GRADO DE DISIPACION DE ENERGIA MODERADA (DMO)	
Concreto	$f'_c \geq 21\ Mpa$
Esfuerzo de la fluencia del acero	$f_{yensayo} > f_{ydiseño}$ en no más de 125 Mpa
Relación esfuerzo de tracción y fluencia	$(f_{ytraccion}\ /f_{yfluencia}) \geq 1.25$
Ancho de la viga	$b_w \geq 200mm$
Excentricidad	$e \leq 25\%$ del ancho del apoyo
Cuantía de refuerzo	$\rho \geq A_{smin}$ y no mayor de 0.025
Cantidad de refuerzo	Mínimo 2#4 continuas arriba y abajo
Estribos	En los extremos de la viga colocar estribos mínimo #3 cerrados de confinamiento a máximo 50 mm de la cara del apoyo
	Las zonas de confinamiento deben ser de longitud 2h, donde no se requiera confinar los estribos deben estar separados máximo d/2
	Espaciamiento máximo estribos de confinamiento, el menor de: - d/4 - 8db longitudinal más pequeño

	- 24db estribos - 300 mm
GRADO DE DISIPACION DE ENERGIA ESPECIAL (DES)	
Concreto	$f_c' \geq 21\ Mpa$
Esfuerzo de la fluencia del acero	$f_{yensayo} > f_{ydiseño}$ en no más de 125 Mpa
Relación esfuerzo de tracción y fluencia	$(f_{ytraccion}/f_{yfluencia}) \geq 1.25$
Luz libre de la viga	No debe ser menor que la 4 veces su altura útil
Ancho de la viga	Mínimo el mayor entre 0.3h y 250 mm
	El ancho no debe ser mayor que el apoyo en una longitud equivalente al menor de los siguientes casos: - El ancho del apoyo (columna) - 0.75 la dimensión perpendicular al ancho del apoyo
Cuantía de refuerzo	$\rho \geq A_{smin}$, $\rho \geq 1.4 b_w d/f_y$, y no mayor de 0.025
Cantidad de refuerzo	Mínimo dos barras longitudinales continuas arriba y abajo
Zonas donde no deben usarse traslapos	- Dentro de los nudos - 2h medidos desde la cara del nudo - Zonas de fluencia por flexión
Estribos	- Espaciamiento mínimo de estribos en zonas de traslapo: el menor de d/4 y 100 mm y no dentro de una distancia menor de 2h
	En los extremos de los apoyos y en zonas de fluencia por flexión, colocar estribos cerrados de confinamiento a máximo 50 mm de la cara del apoyo
	Las zonas de confinamiento deben ser de longitud 2h, donde no se requiera confinar los estribos deben estar separados máximo d/2
	Espaciamiento máximo estribos de

	confinamiento, el menor de: - d/4 - 6db longitudinal más pequeño - 150 mm
Ancho de apoyo (columnas)	El ancho del apoyo paralelo al refuerzo longitudinal de las vigas, no debe ser menor que 20 veces el diámetro de dichas barras.
Longitud de desarrollo gancho estándar 90°	No debe ser menor que el mayor valor entre: - 8db - 150 mm - $l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5.4\sqrt{f'_c}}$
Longitud de desarrollo barras rectas	- 2.5 veces el mayor valor entre 8db 150 mm $l_d = \frac{f_y d_b}{5.4\sqrt{f'_c}}$, si el recubrimiento ≤300 mm - 3.25 veces el mayor valor entre 8db 150 mm $l_d = \frac{f_y d_b}{5.4\sqrt{f'_c}}$, si el recubrimiento >300 mm
	Si ld queda fuera de la zona de confinamiento debe aumentarse su valor en 1.6

8.5 Detalles del Refuerzo

Adicionalmente a los análisis y el cumplimiento de los requisitos mencionados con anterioridad, se deben tener en cuenta para la generación de despieces de vigas los detalles del refuerzo estipulados en el capítulo C7 de la NSR-10. Dichos detalles están relacionados con la longitud de los ganchos

estándar y ganchos sísmicos, los diámetros de doblamiento, los límites de espaciamiento, y los recubrimientos mínimos para la protección del refuerzo.

El termino gancho estándar se refiere al doblez en el extremo del refuerzo con el fin de garantizar su longitud de desarrollo. En los estribos se utiliza para abrazar el refuerzo principal de las vigas y en tal caso es llamado gancho sísmico. Con respecto a los ganchos estándar y ganchos sísmicos la NSR-10 establece los siguientes requisitos: (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C91):

Tabla 4. Longitudes mininas de la extensión recta en ganchos.
Fuente: Elaboración propia.

REFUERZO LONGITUDINAL	
Doblez	**Longitud mínima extensión recta del gancho**
180°	4db, pero no menor de 65 mm
90°	12db
REFUERZO TRANSVERSAL (ESTRIBOS)	
Doblez	**Longitud mínima extensión recta del gancho**
90° para barras N°5 o menores	6db
90° para barras N°6 a N° 8	12db
135°	6db, pero no menor de 75mm

Sin embargo, para obtener la longitud total del gancho se debe conocer el diámetro de doblamiento interno del refuerzo, el cual está determinado a partir del diámetro de la barra que se desea doblar (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C91).

Tabla 5. Diámetros mínimos de doblado.
Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo, 2010, p.C-92.

DIÁMETRO DE LAS BARRAS	DIÁMETRO MÍNIMO DE DOBLADO
No. 3 a No. 8	6db
No. 9 a No.11	8db
No.14 y No.18	10db

El diámetro interior de doblado para estribos no debe ser menor que 4db para barras No. 5 o menores. Para barras mayores de No. 5, el diámetro doblado debe cumplir con lo estipulado en la tabla anterior.

Con respecto a la separación mínima entre barras paralelas, condición que se presenta tanto en el refuerzo longitudinal como en el refuerzo transversal de las vigas, se debe conservar una distancia mínima de db pero no menor de 25mm, “con el fin de permitir el flujo rápido del concreto dentro de los espacios comprendidos entre las barras y el encofrado sin crear hormigueros” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C95).

Otra consideración que se debe tener en cuenta es el recubrimiento del refuerzo proporcionado por el concreto, ya que este varía según las condiciones a

las cuales estará expuesto el concreto, como se indica en la siguiente tabla (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C96).

Tabla 6. Recubrimientos de concreto.
Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo, 2010, p.C-96.

EXPOSICIÓN DEL CONCRETO	RECUBRIMIENTO DE CONCRETO (mm)
Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él	75
Concreto expuesto a suelo o a la intemperie, barras No. 6 a No. 18	50
Concreto expuesto a suelo o a la intemperie, barras No. 5 o menores	40
Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo, para viguetas con barras No. 14 y No. 18	40
Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo, para viguetas con barras No. 11 y menores	20
Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo, para vigas	40

8.6 Estado del Arte

Para la realización del diseño de vigas y viguetas en concreto reforzado, actualmente se encuentran en el mercado una serie de libros que contienen la teoría con la cual se diseña elementos sometidos a flexión, cortante y torsión, como es el caso de las vigas y las viguetas, algunos de estos libros son:

- Estructuras de concreto I. Jorge I. Segura.

- Diseño de estructuras en concreto. Arthur H. Nilson.
- Diseño de concreto reforzado. Mc Cormac.
- Diseño básico de concreto reforzado. Vigas Isostáticas: NSR-10. Jaime I. Mora.

Sin embargo, a pesar de ser libros muy completos en la parte teórica del diseño estructural de este tipo de elementos, solo algunos de ellos hacen mención de ciertos requerimientos estipulados en la norma colombiana NRS-10, para el diseño estructural de vigas y viguetas, dado que no se considera necesario trasladar todos los requerimientos de la norma a estos libros.

Por otro lado, en la bibliografía actual tampoco se profundiza en el uso de programas por computador para la generación de despieces de vigas y viguetas, puesto que se considera un tema aparte que no está relacionado con la teoría del diseño estructural.

Es por ello que la finalidad del manual propuesto en este trabajo, se enfoca en compilar la teoría del diseño estructural de vigas y viguetas, los requerimientos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), y la teoría para la generación de despieces utilizando el programa asistido por computador DC-CAD, para de esta manera encontrar en un solo documento todo lo necesario para diseñar este tipo de elementos, en las oficinas de PyP Proyectos S.A.S.

9. Metodología

Para el desarrollo del proyecto, la metodología que se llevó a cabo estuvo basada en la indagación y la consulta de las normas actuales, y de las diversas bibliografías existentes sobre el diseño de vigas y viguetas, además del asesoramiento continuo por parte del tutor encargado de PyP Proyectos S.A.S, sobre los criterios que la empresa considera pertinentes tener en cuenta a la hora de desarrollar la generación de despieces. Por lo tanto, las actividades que conllevaron al desarrollo de dicha metodología fueron:

- Consulta de los requerimientos para el diseño de vigas y viguetas en el Titulo C del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), y en otras bibliografías.
- Recopilación de las consideraciones adicionales que se deben tener en cuenta según la experiencia de PyP Proyectos S.A.S, en casos especiales de despieces de vigas y viguetas.
- Realización de los procedimientos de verificación previos al despiece de vigas y viguetas por medio de hojas de cálculo.
- Indagación y comprensión del funcionamiento del programa DC-CAD para generar despieces de vigas y viguetas.
- Generación de despieces de vigas y viguetas en el programa DC-CAD.
- Redacción del manual de unificación de criterios para el diseño de vigas y viguetas en concreto para edificaciones en Colombia.

10. Resultados

La información recolectada y transformada en hojas de cálculo o en archivos del programa DC-CAD, así como el manual para el diseño de vigas y viguetas, se encuentran en los anexos del presente documento. Dichos archivos contienen la siguiente información:

10.1 Procedimientos de Verificación

Este es un archivo de Excel que contiene siete hojas de cálculo, en las cuales se desarrollan los procedimientos matemáticos de temas como: Cuantías de refuerzo, cantidad de refuerzo superior, inferior y superficial, longitud de ganchos estándar, longitud de desarrollo de ganchos estándar, y la verificación de los requerimientos del Título C, que se deben realizar en vigas según su capacidad de disipación de energía DMI, DMO y DES.

10.2 Empalmes por Traslapo

Este es un archivo de Excel que contiene cuatro hojas de cálculo, donde se obtuvieron, matemáticamente, las longitudes de los empalmes por traslapo, tanto para el refuerzo superior como para el refuerzo inferior. Estos se dividen en Clase A y Clase B, según la zona en donde se realice el empalme por traslapo, y si estos son escalonados o no.

10.3 Librerías DC-CAD

A partir de los cálculos de los empalmes por traslapo presentados anteriormente se generaron las librerías en DC-CAD, con el fin de cargar al

proyecto, las longitudes de los empalmes por traslapo, según la resistencia a la compresión del concreto f'c, de tal manera que dichas longitudes no se diligencian manualmente cada vez que se inicia con un nuevo proyecto. A continuación se describe el contenido de cada librería:

- TCA-21MPA: Traslapos clase A para f'c= 21 MPa
- TCA-24.5MPA: Traslapos clase A para f'c= 24.5 MPa
- TCA-28MPA: Traslapos clase A para f'c= 28 MPa
- TCA-31.5MPA: Traslapos clase A para f'c= 31.5 MPa
- TCA-35MPA: Traslapos clase A para f'c= 35 MPa
- TCA-38.5MPA: Traslapos clase A para f'c= 38.5 MPa
- TCA-42MPA: Traslapos clase A para f'c= 42 MPa
- TCA-45.5MPA: Traslapos clase A para f'c= 45.5 MPa
- TCA-49MPA: Traslapos clase A para f'c= 49 MPa
- TCA-52.5MPA: Traslapos clase A para f'c= 52.5 MPa
- TCA-56MPA: Traslapos clase A para f'c= 56 MPa
- TCB-21MPA: Traslapos clase B para f'c= 21 MPa
- TCB-24.5MPA: Traslapos clase B para f'c= 24.5 MPa
- TCB-28MPA: Traslapos clase B para f'c= 28 MPa
- TCB-31.5MPA: Traslapos clase B para f'c= 31.5 MPa
- TCB-35MPA: Traslapos clase B para f'c= 35 MPa
- TCB-38.5MPA: Traslapos clase B para f'c= 38.5 MPa
- TCB-42MPA: Traslapos clase B para f'c= 42 MPa

- TCB-45.5MPA: Traslapos clase B para f'c= 45.5 MPa
- TCB-49MPA: Traslapos clase B para f'c= 49 MPa
- TCB-52.5MPA: Traslapos clase B para f'c= 52.5 MPa
- TCB-56MPA: Traslapos clase B para f'c= 56 MPa

10.4 Variables Fijas

Por otro lado, también se generaron las variables fijas para el despiece de vigas y viguetas, teniendo en cuenta los procedimientos de verificación, la capacidad de disipación energía de las vigas, y la clasificación de las vigas, como por ejemplo: Vigas aéreas, vigas de cimentación, y vigas de amarre. A continuación se describe el contenido de las variables fijas:

- VG-AR-DMI: Variables fijas para vigas aéreas DMI
- VG-AR-DMO: Variables fijas para vigas aéreas DMO
- VG-AR-DES: Variables fijas para vigas aéreas DES
- VG-CM-DMI: Variables fijas para vigas de cimentación DMI
- VG-CM-DMO: Variables fijas para vigas de cimentación DMO
- VG-CM-DES: Variables fijas para vigas de cimentación DES
- VG-AM-DMO: Variables fijas para vigas de amarre DMO y DMI
- VG-AM-DES: Variables fijas para vigas de amarre DES

10.5 Despieces de vigas en DC-CAD

Con el fin ejemplificar cada uno de los tipos de vigas que pueden aparecer en el diseño estructural de edificaciones, se eligieron algunos de los proyectos que

maneja la empresa con las características de DMI, DMO y DES, con diferentes tipos de secciones y geometrías, para explicar de manera más grafica los contenidos del manual de unificación de criterios.

10.6 P&P-Manual Vigas y Viguetas

Este es el documento que recopila toda la información anteriormente descrita, el cual explica, paso a paso, cada uno de los procedimientos de verificación. Además le indica al usuario, la manera más eficaz de utilizar la herramienta DC-CAD, sin entrar a profundizar en el manejo de cada uno de los comandos, pero si guiando al usuario en la creación de nuevos proyectos por primera vez. El uso de graficas provenientes de Excel, AutoCAD y DC-CAD le permitirá al usuario la comprensión del manual de una manera rápida, lo cual lo convierte en un documento de consulta de fácil acceso.

11. Conclusiones

- La organización de los requisitos del Título C de la NSR-10 en hojas de cálculo y tablas resumen, permite a los ingenieros tener la certeza de que se están verificando todos los requisitos de la norma, a la hora de diseñar elementos estructurales tipo vigas y viguetas.
- Los requerimientos adicionales recopilados en el último capítulo del manual, derivados de la experiencia de PyP Proyectos S.A.S, fueron de gran importancia para la empresa, ya que estos permitieron a los ingenieros tener mayor claridad, de cómo se debe proceder al diseñar vigas con condiciones especiales.
- La programación de hojas de cálculo para la verificación de los requerimientos de la NSR-10, con respecto al diseño de vigas y viguetas, generó un proceso de estandarización en la forma de diseñar este tipo de elementos estructurales en la empresa PyP Proyectos S.A.S, logrando así la unificación de criterios para el diseño, y la generación de despieces de vigas y viguetas en la empresa.
- DC-CAD es un programa diseñado para despiezar vigas con geometrías sencillas, es decir, no abarca el diseño automatizado de vigas con casos especiales, como las abordadas en el último capítulo del manual. Además, no incluye todos los requisitos de la NSR-10, ya que la norma se ha venido actualizando después de su primera publicación en el 2010.

- El programa DC-CAD genera en la mayoría de casos despieces de vigas DMI, DMO y viguetas adecuadamente, con las configuraciones de las variables fijas explicadas en el manual. Sin embargo, cuando se trata de generar despieces de vigas DES se deben hacer ajustes manuales, ya que el programa no permite la completa configuración de las variables para este tipo de vigas.
- El Manual de Unificación de Criterios para el Diseño de Vigas y Viguetas en Concreto para Edificaciones en Colombia, recopiló toda la información derivada de la NSR-10, la experiencia de la empresa PyP Proyectos S.A.S, y la generación de despieces en el programa DC-CAD, de tal manera que ahora los ingenieros de diseño tienen un documento completo y controlado, de cómo se debe realizar este trabajo en la empresa.

Lista de referencias

American Concrete Institute. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-14.* Bogotá: American Concrete Institute.

Garcia, L., Palomino, C., & Segura, J. (2015). Capitulos del nuevo ACI-318. *Seminario El Nuevo ACI-318-14*. Bogotá: 11 de Septiembre 2015.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.* Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Nilson, A. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto* (Décima ed.). Bogotá: McGraw-Hill.

PyP Proyectos S.A.S 2015, P*royectos con Sentido* [en línea], consultado: 25 de Septiembre de 2015, http://www.pyp-proyectos.com/proyectos.html.

Segura, J. (2011). *Estructuras de Concreto I* (Séptima ed.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

ANEXOS

CUANTÍAS

1- El área de refuerzo mínimo a flexión está dado por la siguiente expresión. C.10.5.1

$$A_{smin} = \frac{0.8\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \geq \frac{14 b_w d}{f_y}$$

2- A partir de lo anterior la cuantía mínima en vigas, con fy=4200 kgf/cm², es igual a la obtenida con el área de refuerzo mínimo

$$\rho_{min} = \frac{A_{smin}}{b_w d} \qquad \rho_{min1} = \frac{\frac{0.8\sqrt{f_c'} b_w d}{f_y}}{b_w d} = \frac{0.8\sqrt{f_c'} b_w d}{f_y \, b_w d} = \frac{0.8\sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$\rho_{min2} = \frac{\frac{14 b_w d}{f_y}}{b_w d} = \frac{14 b_w d}{f_y \, b_w d} = \frac{14}{f_y}$$

Por lo tanto, ρmin es igual al mayor valor entre ρmin1 y ρmin2

CUANTÍA MÍNIMA DE REFUERZO											
f'c (kgf/cm²)	**210**	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**
ρmin	0.0033	0.0033	0.0033	0.0034	0.0036	0.0037	0.0039	0.0041	0.0042	0.0044	0.0045

3- La cuantía máxima esta dada por los numerales CR10.3.5 y C-B.8.4.2 de donde se obtiene la siguiente expresión

$$\rho_{max} = 0.75\left(\frac{0.85\beta_1 f_c'}{f_y} * \frac{6120}{6120 + f_y}\right)$$

Según C.10.2.7.3 los valores que toma el factor β_1 varían como lo indica la siguiente tabla

VARIACIONES DE β1											
f'c (kgf/cm²)	**210**	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**
β1	0.85	0.85	0.85	0.83	0.80	0.78	0.75	0.73	0.70	0.68	0.65

Por lo tanto, la cuantía máxima según la resistencia a la compresión del concreto y para fy=4200 kgf/cm² será:

CUANTÍA MÁXIMA DE REFUERZO											
f'c (kgf/cm²)	**210**	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**
ρmax	0.016	0.019	0.021	0.023	0.025	0.027	0.028	0.030	0.031	0.032	0.033

CANTIDAD DE REFUERZO

1- Refuerzo superior (Negativo)

La mínima cantidad de barras de refuerzo superior (Negativo) se determina a partir de la siguiente expresión que depende del ancho de la viga. Mínimo colocar 2 barras

$$C_{min} = \frac{b_w/10}{2}$$

MINIMA CANTIDAD DE BARRAS DE REFUERZO SUPERIOR (Negativo)																
bw (cm)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Cmin (und)	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5

2- Refuerzo inferior (Positivo)

La máxima cantidad de barras de refuerzo inferior (Positivo) se determina a partir de la siguiente expresión que depende del ancho de la viga

$$C_{max} = \frac{b_w}{10}$$

MÁXIMA CANTIDAD DE BARRAS DE REFUERZO INFERIOR (Positivo)																
bw (cm)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Cmax (und)	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10

3- Refuerzo superior e inferior en viguetas

Para viguetas, la cantidad de refuerzo superior e inferior depende de la siguiente tabla

CANTIDAD DE BARRAS DE REFUERZO EN VIGUETAS					
bw (cm)	10	12	15	20	25
Cv (und)	1	1	2	2	3

4- Refuerzo superficial para vigas con h>90

La separación del refuerzo superficial para vigas con h>90 cm está dada según C.10.6.7 a partir de la siguiente expresión. Este refuerzo debe colocarse dentro de una distancia de h/2

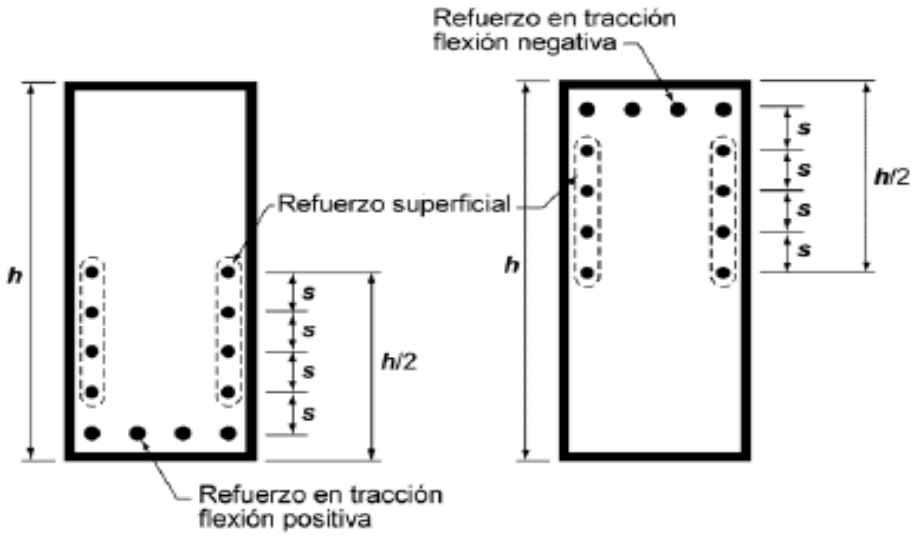


Fig. CR10.6.7 — Refuerzo superficial para vigas y viguetas con $h > 900$ *mm*

Para vigas aéreas

$$s = 38\left(\frac{2800}{f_s}\right) - 2.5C_c \leq 30\left(\frac{2800}{f_s}\right)$$

f_s	2800	kgf/cm²	s	28.0	cm
Cc	4	cm	**s adoptada**	**28**	**cm**

Para vigas de cimentación

$$s = 38\left(\frac{2800}{f_s}\right) - 2.5C_c \leq 30\left(\frac{2800}{f_s}\right)$$

f_s	2800	kgf/cm²	s	25.5	cm
Cc	5	cm	**s adoptada**	**25**	**cm**

GANCHOS ESTÁNDAR

1- Diámetros mínimos de doblado para barras longitudinales (tabla C.7.2)

Designación de la barra No.	Diámetro mínimo de doblado
#3 a #8	6db
#10	8db

2- Longitud de ganchos estándar - Barras longitudinales con doblez 90°

Según C.7.1.2 la extensión después del doblez debe ser 12db

LONGITUDES GANCHOS ESTANDAR - BARRAS LONGITUDINALES CON DOBLEZ 90°			
Designación de la barra No.	**Diámetro Nominal (cm)**	**longitud (cm)**	**longitud adoptada (cm)**
2	0.64	10.7	15
3	0.95	15.9	20
4	1.27	21.2	25
5	1.59	26.6	30
6	1.91	31.9	35
7	2.22	37.1	40
8	2.54	42.4	45
10	3.23	59.1	60

3- Longitud de ganchos estándar - Barras longitudinales con doblez 180°

Según C.7.1.1 la extensión después del doblez debe ser 4db pero no menos de 65mm

LONGITUDES GANCHOS ESTANDAR - BARRAS LONGITUDINALES CON DOBLEZ 180°			
Designación de la barra	**Diámetro Nominal**	**longitud (cm)**	**longitud adoptada**
2	0.64	12.5	15
3	0.95	15.5	20
4	1.27	18.5	20
5	1.59	21.5	25
6	1.91	25.6	30
7	2.22	29.8	30
8	2.54	34.1	35
10	3.23	53.5	55

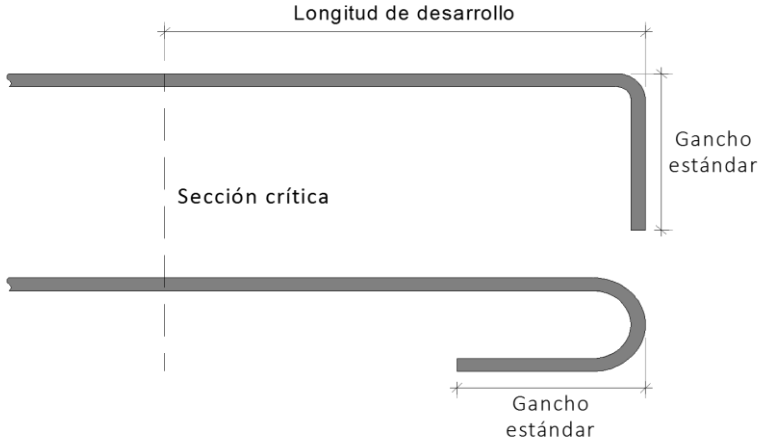
4- Longitud de ganchos estándar - estribos con doblez 135°

Según C.7.1.4 la extensión después del doblez debe ser 6db pero no menos de 75mm para DMO y DES

El diámetro mínimo de doblado para estribos es 4db para barras #5 y menores

LONGITUDES GANCHOS ESTANDAR - ESTRIBOS CON DOBLEZ 135°			
Designación de la barra	**Diámetro Nominal**	**longitud (cm)**	**longitud adoptada**
2	0.64	10.5	10.5
3	0.95	12.0	12.0
4	1.27	13.6	13.5
5	1.59	17.0	17.0
6	1.91	25.0	25.0
7	2.22	29.0	30.0
8	2.54	33.2	33.0
10	3.23	49.8	50.0

LONGITUD DE DESARROLLO GANCHOS ESTÁNDAR



1- La longitud de desarrollo de ganchos estándar no debe ser menor de 8db ni 15 cm C.12.5.2

$$l_{dh} = \left(\frac{0.075 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

Ψ_e	1.0		C.12.2.4(b)
λ	1.0		C.12.2.4(d)
f_y	4200	kgf/cm²	

LONGITUDES DE DESARROLLO PARA GANCHOS ESTANDAR EN TRACCIÓN												
Designación de la barra No.	**Diámetro Nominal (cm)**	**Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)**										
		210	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**
3	0.95	21	19	18	17	16	15	15	15	15	15	15
4	1.27	28	26	24	23	21	20	20	19	18	17	17
5	1.59	35	32	30	28	27	26	24	23	23	22	21
6	1.91	42	38	36	34	32	31	29	28	27	26	25
7	2.22	48	45	42	39	37	36	34	33	32	31	30
8	2.54	55	51	48	45	43	41	39	38	36	35	34
10	3.23	70	65	61	57	54	52	50	48	46	44	43

2- La longitud de desarrollo de ganchos estándar si se colocan estribos paralelos o perpendiculares a la barra con gancho estándar es la siguiente. C.12.5.3

LONGITUDES DE DESARROLLO PARA GANCHOS ESTANDAR EN TRACCIÓN - FACTOR: 0.8												
Designación de la barra No.	**Diámetro Nominal (cm)**	**Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)**										
		210	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**
3	0.95	17	15	14	13	13	12	12	12	12	12	12
4	1.27	22	20	19	18	17	16	16	15	14	14	14
5	1.59	28	26	24	23	21	20	20	19	18	17	17
6	1.91	33	31	29	27	26	25	23	23	22	21	20
7	2.22	39	36	33	32	30	29	27	26	25	24	24
8	2.54	44	41	38	36	34	33	31	30	29	28	27
10	3.23	56	52	49	46	44	41	40	38	37	36	34

DISEÑO DE VIGAS CON CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGIA MODERADA (DMO)

Geometría				Materiales	
bw (cm)	h (cm)	d (cm)	Mu (t-m)	f'c (kg/cm²)	fy (kg/cm²)
60	60	54	30	210	4200

1- Diseño a flexión

a) Cuantías y área de refuerzo requerida

ρmin	ρreq	ρmax	As (cm²)	Barra #	Cantidad
0.0033	0.0048	0.016	15.58	#6	6

b) Resistencia a momento positivo ≥ 1/3 Resistencia a momento negativo C.21.3.4.4

		ρ	ϕMn (t-m)	
As momento positivo (cm²)	17.04	0.0053	60.41	**OK**
As momento negativo (cm²)	22.72	0.0070	78.78	

c) Resistencia a momento positivo o negativo ≥ 1/5 Resistencia máxima a momento C.21.3.4.4

		ρ	ϕMn (t-m)	
As momento (+) o (-) (cm²)	17.04	0.0053	60.41	**OK**
As momento máximo (cm²)	22.72	0.0070	78.78	

2- Diseño a cortante

a) Separación máxima de estribos en zona de confinamiento C.21.3.4.5

$d/4(cm)$	$\#d_{bl}$	$8d_{bl}(cm)$	$\#d_{bt}$	$24d_{bt}(cm)$	300 mm	
13.5	#4	10.2	#3	22.8	30	**Separación adoptada**
						10 cm

b) Separación máxima de estribos en el centro de la luz C.11.4.5.1 y C.21.3.4.8

$d/2(cm)$	500 mm	
27	50	**Separación adoptada**
		27 cm

c) Chequeo separación de estribos cuando Vu> 0.5ϕVc C.11.4.6.1

Estribos	Ramas	s (cm)	Av (cm²)	Avmin (cm²)
#3	3	27	2.13	1.35

d) Chequeos sobre ϕVs C.11.4.5.3 y C.11.4.7.9

Zona de confinamiento

Estribos	Ramas	s (cm)	ϕVs(t)	ϕVsmax(t)
#3	2	10	24.15	77.47

Centro de la luz

Estribos	Ramas	s (cm)	ϕVs(t)	ϕVsmax(t)
#3	2	27	8.95	77.47

$\varphi V_s > \varphi 1.1\sqrt{f'_c} b_w d$? **OK**

e) Chequeo Vu≤ϕVn

ϕVc (t) 18.66 ϕVn (t) 96.13 Vu (t) 70 **OK**

DISEÑO DE VIGAS CON CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGIA ESPECIAL (DES)

Geometría				Materiales	
bw (cm)	h (cm)	d (cm)	Mu (t-m)	f'c (kg/cm²)	fy (kg/cm²)
60	60	54	30	210	4200

1- Diseño a flexión

a) Cuantías y área de refuerzo requerida

ρmin	ρreq	ρmax	As (cm²)	Barra #	Cantidad
0.0033	0.0048	0.016	15.58	#6	6

b) Resistencia a momento positivo ≥ 1/2 Resistencia a momento negativo C.21.5.2.2

		ρ	ϕMn (t-m)	
As momento positivo (cm²)	17.04	0.0053	60.41	**OK**
As momento negativo (cm²)	22.72	0.0070	78.78	

c) Resistencia a momento positivo o negativo ≥ 1/4 Resistencia máxima a momento C.21.5.2.2

		ρ	ϕMn (t-m)	
As momento (+) o (-) (cm²)	17.04	0.0053	60.41	**OK**
As momento máximo (cm²)	22.72	0.0070	78.78	

2- Diseño a cortante

a) Separación máxima de estribos en zona de confinamiento C.21.5.3.2

$d/4(cm)$	$\#d_{bl}$	$6d_{bl}(cm)$	100 mm	**Separación adoptada**
13.5	#4	7.6	10	**7 cm**

b) Separación máxima de estribos en el centro de la luz C.11.4.5.1 y C.21.5.3.4

$d/2(cm)$	500 mm	**Separación adoptada**
27	50	**27 cm**

c) Chequeo separación de estribos cuando Vu> 0.5ϕVc C.11.4.6.1

Estribos	Ramas	s (cm)	Av (cm²)	Avmin (cm²)
#3	3	27	2.13	1.35

d) Chequeos sobre ϕVs C.11.4.5.3 y C.11.4.7.9

Zona de confinamiento

Estribos	Ramas	s (cm)	ϕVs(t)	ϕVsmax(t)
#3	2	10	24.15	77.47

Centro de la luz

Estribos	Ramas	s (cm)	ϕVs(t)	ϕVsmax(t)
#3	2	27	8.95	77.47

$\varphi V_s > \varphi 1.1\sqrt{f_c'} b_w d$? **OK**

e) Chequeo Vu≤ϕVn C.11.7.3

ϕVc (t) 18.66 ϕVn (t) 96.13 Vu (t) 70 **OK**

DISEÑO DE VIGAS CON CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGIA MINIMA (DMI) Y VIGUETAS

Geometría

bw (cm)	h (cm)	d (cm)	Mu (t-m)
15	60	54	20

Materiales

f'c (kg/cm²)	fy (kg/cm²)
210	4200

1- Diseño a flexión

a) Cuantías y área de refuerzo requerida

ρmin	ρreq	ρmax	As (cm²)	Barra #	Cantidad
0.0033	0.0146	0.016	11.84	#6	5

b) Refuerzo constructivo en viguetas

As min retracción y temperatura (cm²)	0.81		
Designacion de la malla	ϕ6.0mm c/.15		
As malla de la placa (cm²)	0.28	Barra #	Cantidad
As refuerzo constructivo (cm²)	0.53	#2	2

2- Diseño a cortante

a) Separación máxima de estribos cerca al apoyo según C.11.4.5.1

$d/2(cm)$	**Separación adoptada**
27.0	**27 cm**

b) Separación máxima de estribos en el centro de la luz

$d(cm)$	500 mm	**Separación adoptada**
54	50	**50 cm**

c) Chequeo separación de estribos cuando Vu> 0.5ϕVc C.11.4.6.1

Estribos	Ramas	s (cm)	Av (cm²)	Avmin (cm²)
#2	2	27	0.64	0.34

d) Chequeos sobre ϕVs C.11.4.5.3 y C.11.4.7.9

Cerca al apoyo

Estribos	Ramas	s (cm)	ϕVs(t)	ϕVsmax(t)
#2	2	27	4.03	19.37

Centro de la luz

Estribos	Ramas	s (cm)	ϕVs(t)	ϕVsmax(t)
#2	2	50	2.18	19.37

$\varphi V_s > \varphi 1.1\sqrt{f_c'} b_w d$? **OK**

e) Chequeo Vu≤ϕVn

ϕVc (t) 4.67 ϕVn (t) 24.03 Vu (t) 20 **OK**

EMPALMES POR TRASLAPO PARA REFUERZO SUPERIOR CLASE A

La longitud de desarrollo no debe ser menor de 300 mm. C.12.2.1

Barras No. 6 o menores C.12.2.2

$$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{6.6\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$$

Barras No. 7 o mayores C.12.2.2

$$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{5.3\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b$$

Ψ_t	1.3	C.12.2.4(a)
Ψ_e	1.0	C.12.2.4(b)
λ	1.0	C.12.2.4(d)
f_y	4200	kgf/cm²

EMPALMES POR TRASLAPO PARA REFUERZO SUPERIOR (cm) - CLASE A												
Designación de la barra No.	Diámetro Nominal (cm)	Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)										
		210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	560
2	0.64	37	34	32	30	30	30	30	30	30	30	30
3	0.95	54	50	47	44	42	40	38	37	36	34	33
4	1.27	73	67	63	59	56	54	51	49	47	46	44
5	1.59	91	84	79	74	70	67	64	62	59	57	56
6	1.91	109	101	94	89	84	81	77	74	71	69	67
7	2.22	158	146	137	129	122	117	112	107	103	100	97
8	2.54	181	167	156	147	140	133	128	123	118	114	111
10	3.23	230	213	199	187	178	170	162	156	150	145	141

Los empalmes por traslapo adopdados para refuerzo superior - Clase A son los siguientes:

EMPALMES POR TRASLAPO ADOPTADOS PARA REFUERZO SUPERIOR (cm) - CLASE A												
Designación de la barra	Diámetro Nominal	Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)										
		210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	560
2	0.64	40	35	35	30	30	30	30	30	30	30	30
3	0.95	55	55	50	45	45	45	40	40	40	35	35
4	1.27	75	70	65	60	60	55	55	50	50	50	45
5	1.59	95	85	80	75	75	70	65	65	60	60	60
6	1.91	110	105	95	90	85	85	80	75	75	70	70
7	2.22	160	150	140	130	125	120	115	110	105	100	100
8	2.54	185	170	160	150	140	135	130	125	120	115	115
10	3.23	230	215	200	190	180	170	165	160	155	150	145

EMPALMES POR TRASLAPO PARA REFUERZO INFERIOR CLASE A

La longitud de desarrollo no debe ser menor de 300 mm. C.12.2.1

Barras No. 6 o menores C.12.2.2

$$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{6.6\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$$

Barras No. 7 o mayores C.12.2.2

$$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{5.3\lambda\sqrt{f'_c}}\right) d_b$$

Ψ_t	1.0	C.12.2.4(a)
Ψ_e	1.0	C.12.2.4(b)
λ	1.0	C.12.2.4(d)
f_y	4200	kgf/cm²

EMPALMES POR TRASLAPO PARA REFUERZO INFERIOR (cm) - CLASE A											
Designación de la barra No.	**Diámetro Nominal (cm)**	**Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)**									
		210	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**
2	0.64	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3	0.95	42	39	36	34	32	31	30	30	30	30	30
4	1.27	56	52	48	46	43	41	39	38	37	35	34
5	1.59	70	65	60	57	54	52	49	47	46	44	43
6	1.91	84	78	73	68	65	62	59	57	55	53	51
7	2.22	121	112	105	99	94	90	86	82	79	77	74
8	2.54	139	129	120	113	108	103	98	94	91	88	85
10	3.23	177	164	153	144	137	130	125	120	116	112	108

Los empalmes por traslapo adopdados para refuerzo inferior - Clase A son los siguientes:

EMPALMES POR TRASLAPO ADOPTADOS PARA REFUERZO INFERIOR (cm) - CLASE A											
Designación de la barra	**Diámetro Nominal**	**Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)**									
		210	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**
2	0.64	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3	0.95	45	40	40	35	35	35	30	30	30	30	30
4	1.27	60	55	50	50	45	45	40	40	40	40	35
5	1.59	70	65	65	60	55	55	50	50	50	45	45
6	1.91	85	80	75	70	65	65	60	60	55	55	55
7	2.22	125	115	110	100	95	90	90	85	80	80	75
8	2.54	140	130	125	115	110	105	100	95	95	90	90
10	3.23	180	165	155	145	140	135	125	120	120	115	110

EMPALMES POR TRASLAPO PARA REFUERZO SUPERIOR CLASE B

La longitud de desarrollo no debe ser menor de 300 mm. C.12.2.1

En este caso la longitud del traslapo será 1.3ld. C.12.15.1

EMPALMES POR TRASLAPO PARA REFUERZO SUPERIOR (cm) - CLASE B												
Designación de la barra No.	Diámetro Nominal (cm)	Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)										
		210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	560
2	0.64	47	44	41	39	39	39	39	39	39	39	39
3	0.95	71	65	61	58	55	52	50	48	46	45	43
4	1.27	94	87	82	77	73	70	67	64	62	60	58
5	1.59	118	109	102	96	91	87	83	80	77	75	72
6	1.91	142	131	123	116	110	105	100	96	93	90	87
7	2.22	205	190	178	168	159	152	145	139	134	130	126
8	2.54	235	217	203	192	182	173	166	159	154	148	144
10	3.23	299	276	259	244	231	220	211	203	195	189	183

Los empalmes por traslapo adopdados para refuerzo superior - Clase B son los siguientes:

EMPALMES POR TRASLAPO ADOPTADOS PARA REFUERZO SUPERIOR (cm) - CLASE B												
Designación de la barra	Diámetro Nominal	Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)										
		210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	560
2	0.64	50	45	45	40	40	40	40	40	40	40	40
3	0.95	75	70	65	60	55	55	50	50	50	45	45
4	1.27	95	90	85	80	75	70	70	65	65	60	60
5	1.59	120	110	105	100	95	90	85	85	80	75	75
6	1.91	145	135	125	120	110	105	105	100	95	90	90
7	2.22	210	190	180	170	160	155	150	140	135	130	130
8	2.54	235	220	205	195	185	175	170	160	155	150	145
10	3.23	300	280	260	245	235	225	215	205	200	190	185

EMPALMES POR TRASLAPO PARA REFUERZO INFERIOR CLASE B

La longitud de desarrollo no debe ser menor de 300 mm. C.12.2.1

En este caso la longitud del traslapo será 1.3ld. C.12.15.1

EMPALMES POR TRASLAPO PARA REFUERZO INFERIOR (cm) - CLASE B												
Designación de la barra No.	Diámetro Nominal (cm)	Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)										
		210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	560
2	0.64	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
3	0.95	54	50	47	44	42	40	39	39	39	39	39
4	1.27	73	67	63	59	56	54	51	49	47	46	44
5	1.59	91	84	79	74	70	67	64	62	59	57	56
6	1.91	109	101	94	89	84	81	77	74	71	69	67
7	2.22	158	146	137	129	122	117	112	107	103	100	97
8	2.54	181	167	156	147	140	133	128	123	118	114	111
10	3.23	230	213	199	187	178	170	162	156	150	145	141

Los empalmes por traslapo adopdados para refuerzo inferior - Clase B son los siguientes:

EMPALMES POR TRASLAPO ADOPTADOS PARA REFUERZO INFERIOR (cm) - CLASE B												
Designación de la barra	Diámetro Nominal	Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)										
		210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	560
2	0.64	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
3	0.95	55	55	50	45	45	45	40	40	40	40	40
4	1.27	75	70	65	60	60	55	55	50	50	50	45
5	1.59	95	85	80	75	75	70	65	65	60	60	60
6	1.91	110	105	95	90	85	85	80	75	75	70	70
7	2.22	160	150	140	130	125	120	115	110	105	100	100
8	2.54	185	170	160	150	140	135	130	125	120	115	115
10	3.23	230	215	200	190	180	170	165	160	155	150	145

MANUAL DE UNIFICACIÓN DE CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE VIGAS Y VIGUETAS EN CONCRETO PARA EDIFICACIONES EN COLOMBIA

ANA MARIA ESPEJO RIAÑO
COD. D7301792

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA – FAEDIS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

P&P PROYECTOS S.A.S.
PROYECTOS CON SENTIDO
BOGOTÁ D.C. 2016

Manual para el diseño de vigas y viguetas

Tabla de Contenidos

1. PROCEDIMIENTOS DE VERIFICACIÓN 1
1.1 Cuantías 1
1.2 Cantidad de Refuerzo 3
1.3 Ganchos Estándar 6
1.4 Longitud de Desarrollo de Ganchos Estándar 8
1.5 Empalmes por Traslapo 9
2. VIGAS CON DISIPACIÓN DE ENERGÍA MODERADA (DMO) 12
2.1 Diseño a Flexión Vigas DMO 12
2.2 Diseño a Cortante Vigas DMO 13
3. VIGAS CON DISIPACIÓN DE ENERGÍA ESPECIAL (DES) 15
3.1 Diseño a Flexión Vigas DES 16
3.2 Diseño a Cortante Vigas DES 16
4. VIGAS CON DISIPACION DE ENERGIA MINIMA (DMI) Y VIGUETAS 17
4.1 Diseño a Flexión Vigas DMI y Viguetas 17
4.2 Diseño a Cortante Vigas DMI y Viguetas 17
5. RECONOCIMIENTO DEL PROGRAMA DC-CAD 18
5.1 Generación de Solicitaciones en ETABS 18
5.2 Nuevo Proyecto en DC-CAD 20
5.3 Variables Fijas en DC-CAD 27
5.3.1 VG-AR-DMO: Variables Fijas para Vigas Aéreas (DMO) y Viguetas. 28
5.3.2 VG-CM-DMO: Variables fijas para vigas de cimentación (DMO) y viguetas. 44
5.3.3 VG-AR-DES: Variables fijas para vigas aéreas (DES) y viguetas. 49
5.3.4 VG-CM-DES: Variables fijas para vigas de cimentación (DES) y viguetas. 55
5.3.5 VG-AR-DMI: Variables fijas para vigas aéreas (DMI) y viguetas. 55
5.3.6 VG-CM-DMI: Variables fijas para vigas de cimentación (DMI) y viguetas. 55
5.4 Variables de Impresión 55
6. REQUERIMIENTOS ADICIONALES 58
6.1 Barras de Refuerzo #10 58

6.2 Voladizos 58
6.3 Vigas con Cambios de Sección 58
6.4 Vigas de Amarre 61
6.5 Vigas con Primera y Segunda Etapa 64
6.6 Vigas con Refuerzo en las Caras Laterales 67
6.7 Vigas con Refuerzo en Paquete y en Segunda Fila 67
6.8 Vigas Inclinadas 67
LISTA DE REFERENCIAS 71

Lista de Tablas

Tabla 1. Cuantías mínimas de refuerzo 2
Tabla 2. Variaciones de $\beta 1$ 2
Tabla 3. Cuantías máximas de refuerzo 3
Tabla 4. Mínima cantidad de barras de refuerzo superior (Negativo) 3
Tabla 5. Máxima cantidad de barras de refuerzo inferior (Positivo) 4
Tabla 6. Diámetros mínimos de doblado 6
Tabla 7. Longitudes ganchos estándar – barras longitudinales con doblez 90° 7
Tabla 8. Longitudes ganchos estándar – barras longitudinales con doblez 180° 7
Tabla 9. Longitudes ganchos estándar – estribos con doblez 135° 7
Tabla 10. Longitudes de desarrollo ganchos estándar 8
Tabla 11. Longitudes de desarrollo ganchos estándar. Factor: 0.8 9
Tabla 12. Empalmes por traslapo adoptados para refuerzo superior (cm) – Clase A 10
Tabla 13. Empalmes por traslapo adoptados para refuerzo inferior (cm) – Clase A 11
Tabla 14. Empalmes por traslapo adoptados para refuerzo superior (cm) – Clase B 11
Tabla 15. Empalmes por traslapo adoptados para refuerzo inferior (cm) – Clase B 11
Tabla 16. Requisitos para el diseño sismo resistente de vigas DMO 12
Tabla 17. Requisitos para el diseño sismo resistente de vigas DES 15

Lista de Figuras

Figura 1. Viguetas con flejes #2 *Figura 2*. Vigas y viguetas con flejes #3 5
Figura 3. Vigas y viguetas con flejes #4 5
Figura 4. Longitud de desarrollo de ganchos estándar 8
Figura 5. Inicio de Etabs 18
Figura 6. Dividir elementos en estaciones 18
Figura 7. Número de estaciones 18
Figura 8. Exportación de solicitaciones 19
Figura 9. Variables para exportación de solicitaciones 19
Figura 10. Combinaciones de carga 20
Figura 11. Generación solicitaciones 20
Figura 12. Nuevo proyecto en DC-CAD 21
Figura 13. Lectura de niveles 21
Figura 14. Altura placa de cimentación 22
Figura 15. Lectura de solicitaciones 22
Figura 16. Solicitaciones importadas 22
Figura 17. Menú principal de DC-CAD 23
Figura 18. Ejes arquitectónicos en DC-CAD 23
Figura 19. Niveles de piso en DC-CAD 24
Figura 20. Numeración de vigas en DC-CAD 24
Figura 21. Menú principal de DC-CAD 25
Figura 22. Reforzamiento de vigas y viguetas en DC-CAD 26
Figura 23. Nomenclatura archivos en DC-CAD 26
Figura 24. Menú principal de DC-CAD 27
Figura 25. Normas y combinaciones para vigas DMO 28
Figura 26. Normas y combinaciones para viguetas aéreas 29
Figura 27. Barras de refuerzo para vigas DMO 30
Figura 28. Barras de refuerzo para viguetas aéreas 31
Figura 29. Concreto para vigas DMO 31

Figura 30. Concreto para viguetas aéreas 32
Figura 31. Tendencia del refuerzo superior para vigas DMO – Grupo 1 33
Figura 32. Tendencia del refuerzo superior para vigas DMO– Grupo 2 34
Figura 33. Tendencia del refuerzo inferior para vigas DMO– Grupo 1 35
Figura 34. Tendencia del refuerzo inferior para vigas DMO– Grupo 2 36
Figura 35. Tendencia refuerzo superior para viguetas aéreas – Grupo 1 36
Figura 36. Tendencia refuerzo superior para viguetas aéreas – Grupo 2 37
Figura 37. Tendencia refuerzo inferior para viguetas aéreas – Grupo 1 38
Figura 38. Tendencia refuerzo inferior para viguetas aéreas – Grupo 2 38
Figura 39. Variables adicionales para viguetas aéreas 39
Figura 40. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas DMO – Grupos Tipo 1 40
Figura 41. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas DMO – Grupos Tipo 2 41
Figura 42. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para viguetas aéreas – Grupos Tipo 1 42
Figura 43. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para viguetas aéreas – Grupos Tipo 2 43
Figura 44. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas de cimentación DMO – Grupos Tipo 1 45
Figura 45. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas de cimentación DMO – Grupos Tipo 2 46
Figura 46. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para viguetas de cimentación – Grupos Tipo 1 47
Figura 47. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para viguetas de cimentación – Grupos Tipo 2 48
Figura 48. Normas y combinaciones para vigas DES 49
Figura 49. Barras de refuerzo para vigas DES 50
Figura 50. Tendencia del refuerzo superior para vigas DES – Grupo 1 50
Figura 51. Tendencia del refuerzo superior para vigas DES – Grupo 2 51
Figura 52. Tendencia del refuerzo inferior para vigas DES – Grupo 1 51
Figura 53. Tendencia del refuerzo inferior para vigas DES – Grupo 2 52
Figura 54. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas DMO – Grupos Tipo 1 53
Figura 55. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas DMO – Grupos Tipo 2 54
Figura 56. Botón imprimir en DC-CAD 56
Figura 57. Entorno variables de impresión 56
Figura 58. Importar variables de impresión 56
Figura 59. Generar archivo DXF 57

Figura 60. Viga cambio de sección en altura en DC-CAD 59
Figura 61. Viga cambio de sección en altura en AutoCAD 59
Figura 62. Viga cambio de sección en planta en DC-CAD 60
Figura 63. Viga cambio de sección en planta en AutoCAD 60
Figura 64. Viga de amarre DMI o DMO en DC-CAD 62
Figura 65. Viga de amarre DMI o DMO en AutoCAD 62
Figura 66. Viga de amarre DES en DC-CAD 63
Figura 67. Viga de amarre DES en AutoCAD 63
Figura 68. Planta típica sótano en primera etapa 64
Figura 69. Planta típica sótano en segunda etapa 64
Figura 70. Viga con primera y segunda etapa en DC-CAD 65
Figura 71. Viga con primera y segunda etapa en AutoCAD 65
Figura 72. Viga con tramo a demoler en segunda etapa – DC-CAD 66
Figura 73. Viga con tramo a demoler en segunda etapa – AutoCAD 66
Figura 74. Planta viga inclinada – AutoCAD 67
Figura 75. Viga con refuerzo en las caras laterales - DC-CAD 68
Figura 76. Viga con refuerzo en las caras laterales – AutoCAD 68
Figura 77. Viga con refuerzo en paquete y segunda fila – DC-CAD 69
Figura 78. Viga con refuerzo en paquete y segunda fila – AutoCAD 69
Figura 79. Viga inclinada en DC-CAD 70
Figura 80. Viga inclinada en AutoCAD 70

1. PROCEDIMIENTOS DE VERIFICACIÓN

La norma NSR-10 en su Título C, tiene consignados los requerimientos para el diseño de vigas y viguetas, donde se encuentran temas tales como los detalles del refuerzo, el diseño a flexión, el diseño a cortante, las longitudes de desarrollo, y los requisitos de diseño sismo resistente, entre otros. Con el fin de estandarizar y recopilar dichos requerimientos en varias hojas de cálculo para el diseño de vigas y viguetas, se han generado los archivos de Excel llamados **"Procedimientos de verificación"** y **"Empalmes por traslapo"**, ubicados en la siguiente ruta Z:\Formatos-tecnicos\NSR-10\Vigas.

A continuación se procederá a explicar la información contenida en el archivo **"Procedimientos de verificación"**, el cual se encuentra divido en siete hojas de cálculo tituladas: Cuantías, Cantidad de Refuerzo, Ganchos Estándar, Longitud de Desarrollo de Ganchos Estándar, Vigas DMO, Vigas DES, Vigas DMI y viguetas.

1.1 Cuantías

Dado que la falla por compresión se presenta de manera súbita por aplastamiento del concreto en vigas con secciones sobrereforzadas (con excesiva proporción de refuerzo), es necesario diseñar secciones subreforzadas (con escasa proporción de refuerzo) para que fallen por tensión, ya que esta es una falla más controlada en donde se presentan agrietamientos y deflexiones visibles previos al colapso. Por lo tanto, el refuerzo suministrado en una viga debe ser mayor o igual a la cuantía mínima, pero no mayor a la cuantía máxima, que se halla con base en la cuantía balanceada, donde se diseña para una falla simultánea del concreto y el acero.

La cuantía mínima según C.10.5.1 está representada por el área mínima de refuerzo suministrada en una sección de concreto, a partir de la siguiente expresión (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C147):

$$A_{smin} = \frac{0.8\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \geq \frac{14 b_w d}{f_y}$$

Donde, f'_c es la resistencia a la compresión del concreto, f_y es la resistencia a la fluencia del refuerzo, b_w es el ancho de la viga, y d es la distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.

Sin embargo, en elementos grandes, es suficiente colocar 1/3 adicional del refuerzo requerido, ya que el A_{smin} sería excesivo en estos casos según C.10.5.3, (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C147).

La cuantía de refuerzo de cualquier sección de concreto se obtiene con la siguiente formula (Segura, 2011, pág. 565).

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

Donde, A_s es el área de refuerzo, y b es el ancho de la viga; reemplazando en la anterior ecuación el área mínima de refuerzo de la expresión C.10.5.1, se obtendrá la cuantía mínima de refuerzo, así:

$$\rho_{min} = \frac{A_{smin}}{b_w d}$$

$$\rho_{min1} = \frac{\frac{0.8\sqrt{f_c'}\, b_w d}{f_y}}{b_w d} = \frac{0.8\sqrt{f_c'}\, b_w d}{f_y\ b_w d} = \frac{0.8\sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$\rho_{min2} = \frac{\frac{14 b_w d}{f_y}}{b_w d} = \frac{14 b_w d}{f_y\ b_w d} = \frac{14}{f_y}$$

Por lo tanto, la cuantía mínima de refuerzo es igual al mayor valor entre ρ_{min1} y ρ_{min2}. De esta manera las cuantías mínimas para $f_y = 4200\ kgf/cm^2$ en función del concreto serán:

Tabla 1. Cuantías mínimas de refuerzo

CUANTIA MINIMA DE REFUERZO						
f'c (kgf/cm²)	**210**	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**
ρmin	0.0033	0.0033	0.0033	0.0034	0.0036	0.0037
f'c (kgf/cm²)	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**	
ρmin	0.0039	0.0041	0.0042	0.0044	0.0045	

Fuente propia

La cuantía máxima se define en la NSR-10 como el 75% de la cuantía balanceada, según CR-10.3.5 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C145). Por lo tanto, para hallar la cuantía máxima de refuerzo es necesario conocer la cuantía balanceada, la cual se representa a partir de la siguiente expresión formulada en C-B.8.4.2 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C477):

$$\rho_{max} = 0.75\left(\frac{0.85\beta_1 f_c'}{f_y} * \frac{6120}{6120 + f_y}\right)$$

Donde, β_1 es un factor que relaciona la profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro, estos cálculos se basan en la teoría simplificada de Witney. Los valores que toma dicho factor según C.10.2.7.3 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C143) , son los siguientes:

Tabla 2. Variaciones de β_1

VARIACIONES DE β_1						
f'c (kgf/cm²)	**210**	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**
ρmin	0.85	0.85	0.85	0.83	0.80	0.78
f'c (kgf/cm²)	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**	
ρmin	0.75	0.73	0.70	0.68	0.65	

Fuente propia

Por lo tanto, las cuantías máximas de refuerzo para $f_y = 4200\ kgf/cm^2$ en función del concreto serán:

Tabla 3. Cuantías máximas de refuerzo

CUANTIA MINIMA DE REFUERZO						
f'c (kgf/cm²)	**210**	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**
ρmin	0.016	0.019	0.021	0.023	0.025	0.027
f'c (kgf/cm²)	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**	
ρmin	0.028	0.030	0.031	0.032	0.033	

Fuente propia

Cabe resaltar, que si se requieren concretos con mayor resistencia, el ingeniero a cargo será responsable de calcular las cuantías mínimas y máximas del concreto a utilizar en el diseño estructural.

1.2 Cantidad de Refuerzo

Con base en las cuantías mínimas y máximas de refuerzo que se pueden asignar a una viga, se ha determinado la cantidad de barras de refuerzo superior e inferior de la siguiente manera:

A. Para el refuerzo superior o negativo, se puede colocar la mínima cantidad de barras continuas según el ancho de la sección, y adicionar barras individuales en los apoyos del elemento donde se requiere por momento negativo. La expresión que representa la mínima cantidad de barras continuas en una viga será:

$$C_{min} = \frac{b_w/10}{2}$$

Si se utiliza la anterior expresión, podrán traslaparse en el mismo punto las barras de refuerzo continuas, garantizando que el refuerzo sea más económico. Por lo tanto, para los anchos de vigas más comunes utilizados en PyP Proyectos, la mínima cantidad de barras continuas será:

Tabla 4. Mínima cantidad de barras de refuerzo superior (Negativo)

MINIMA CANTIDAD DE BARRAS DE REFUERZO SUPERIOR (Negativo)										
bw (cm)	10	12	15	20	25	30	35	40	45	eje
Cmin (und)	1	1	2	2	3	2	2	2	3	3
bw (cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Cmin (und)	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5

Fuente propia

B. Para el refuerzo inferior o positivo, se debe colocar la máxima cantidad de barras continuas, teniendo en cuenta la cuantía máxima de refuerzo. En este caso la expresión de la máxima cantidad de barras será:

$$C_{max} = \frac{b_w}{10}$$

Por lo tanto, para los anchos de vigas más comunes utilizados en PyP Proyectos, la máxima cantidad de barras continuas será:

Tabla 5. Máxima cantidad de barras de refuerzo inferior (Positivo)

MÁXIMA CANTIDAD DE BARRAS DE REFUERZO INFERIOR (Positivo)										
bw (cm)	10	12	15	20	25	30	35	40	45	50
Cmax (und)	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
bw (cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Cmax (und)	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10

Fuente propia

Nótese que la cantidad mínima y máxima de barras de refuerzo está relacionada con las cuantías tratadas en la sección anterior. Esto se puede evidenciar mejor con los siguientes esquemas de vigas, representados con la máxima cantidad de barras, y según los recubrimientos para vigas y viguetas del C.7.7.1 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C96).

En la *Figura 1*. Viguetas con flejes #2 *Figura 2*. Vigas y viguetas con flejes #3, y la *Figura 3*. Vigas y viguetas con flejes #4, se muestra el espaciamiento mínimo entre barras, cuando se colocan los máximos diámetros permitidos por cada sección.

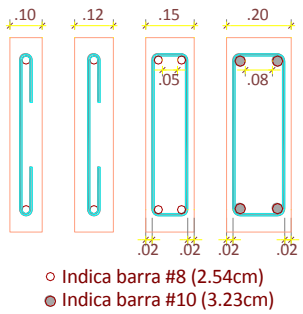


Figura 1. Viguetas con flejes #2
Fuente propia

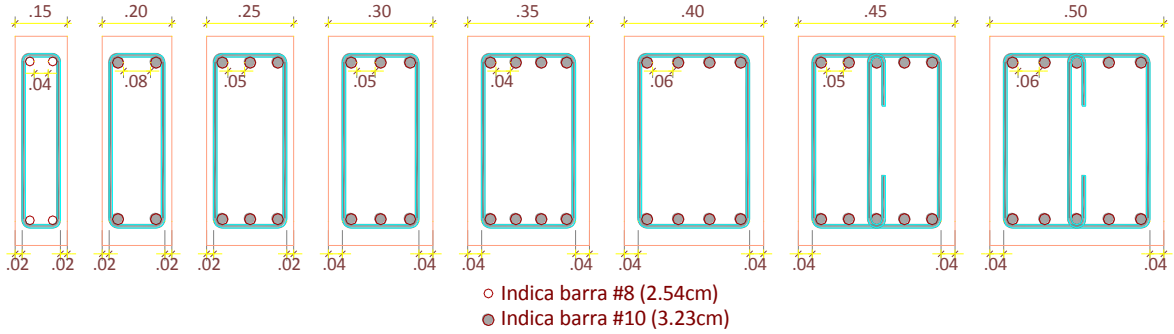


Figura 2. Vigas y viguetas con flejes #3
Fuente propia

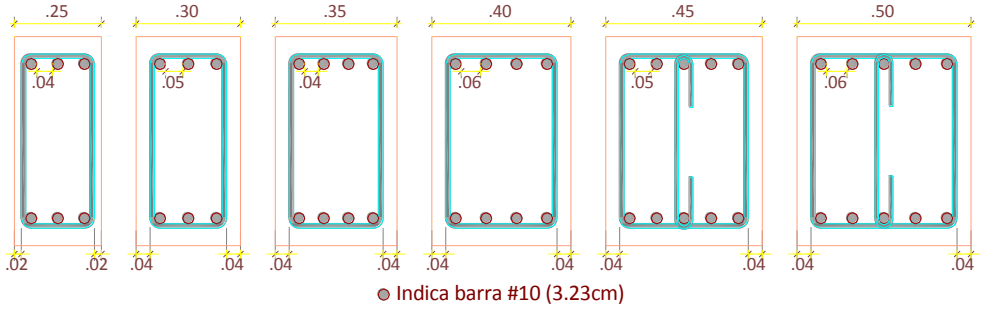


Figura 3. Vigas y viguetas con flejes #4
Fuente propia

Adicionalmente, al refuerzo superior e inferior en vigas y viguetas, según C.10.6.7 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C149), para vigas con una atura mayor a 90cm, se debe colocar refuerzo superficial en las caras de la viga, con el fin de controlar el agrietamiento en el alma, por medio de la siguiente expresión C.10.6.4 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C149):

$$s = 38\left(\frac{2800}{f_s}\right) - 2.5C_c \leq 30\left(\frac{2800}{f_s}\right)$$

Donde, s es la separación del refuerzo superficial, f_s es el esfuerzo en el refuerzo calculado para las cargas de servicio ($f_s = \frac{2}{3}f_y$), y C_c es el recubrimiento del refuerzo superficial.

De esta manera, para $f_y = 4200\ kgf/cm^2$, y teniendo en cuenta los recubrimientos para vigas del **"Plano N°1.3 Detalles Despieces"** ubicado en la siguiente ruta Z:\Bloques-P&P_PROTOTIPOS, el refuerzo superficial se asignará así:

A. Para vigas aéreas: #4 c/.28
B. Para vigas de cimentación: #4 c/.25

Nótese que el diámetro de la barra para el refuerzo superficial puede ser cualquiera, lo importante es colocar el refuerzo con la separación indicada en C.10.6.4. Ver cálculos en la pestaña Cantidad Refuerzo del archivo Procedimientos de verificación.

1.3 Ganchos Estándar

La longitud de los ganchos estándar se define a partir de los diámetros mínimos de doblado, y la extensión después del doblez que debe tener la barra de refuerzo. Los diámetros mínimos de doblado dependen del diámetro de la barra como se evidencia en la Tabla C.7.2 de la NSR-10 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C92).

Tabla 6. Diámetros mínimos de doblado

Diámetro de las barras	Diámetro mínimo de doblado
No. 3 (3/8) ó 10M (10mm) a No. 8 (1") ó 25M (25mm)	6db
No. 9 (1-1/8") ó 30M (30mm), No. 10 (1-1/4") ó 32M (32mm) y No. 11 (1-3/8") ó 36M (36mm)	8db
No. 14 (1-3/4") ó 45M (45mm) y No. 18 (2-14") ó 55M (55mm)	10db

Fuente: NSR-10

El diámetro mínimo de doblado para estribos es de 4db si la barra es menor o igual a #5. Para los demás diámetros se utiliza la anterior tabla. (C.7.2.2)

Con respecto a la extensión después del doblez, ésta depende del ángulo de doblado, de la siguiente manera (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C91):

A. Para 90°: la extensión después del doblez debe ser 12db. (C.7.1.2)

B. Para 180°: la extensión después del doblez debe ser 4db pero no menos de 65mm. (C.7.1.1)
C. Para 135°: la extensión después del doblez debe ser 6db pero no menos de 75mm para DMO y DES. (C7.1.4)

Con base en lo anterior, las longitudes de los ganchos estándar según el ángulo de doblado son las siguientes:

Tabla 7. Longitudes ganchos estándar – barras longitudinales con doblez 90°

LONGITUDES GANCHOS ESTANDAR - BARRAS LONGITUDINALES CON DOBLEZ 90°			
Designación de la barra No.	**Diámetro Nominal (cm)**	**longitud (cm)**	**longitud adoptada (cm)**
2	0.64	10.7	15
3	0.95	15.9	20
4	1.27	21.2	25
5	1.59	26.6	30
6	1.91	31.9	35
7	2.22	37.1	40
8	2.54	42.4	45
10	3.23	59.1	60

Fuente propia

Tabla 8. Longitudes ganchos estándar – barras longitudinales con doblez 180°

LONGITUDES GANCHOS ESTANDAR - BARRAS LONGITUDINALES CON DOBLEZ 180°			
Designación de la barra No.	**Diámetro Nominal (cm)**	**longitud (cm)**	**longitud adoptada (cm)**
2	0.64	12.5	15
3	0.95	15.5	20
4	1.27	18.5	20
5	1.59	21.5	25
6	1.91	25.6	30
7	2.22	29.8	30
8	2.54	34.1	35
10	3.23	53.5	55

Tabla 9. Longitudes ganchos estándar – estribos con doblez 135°

LONGITUDES GANCHOS ESTANDAR - ESTRIBOS CON DOBLEZ 135°			
Designación de la barra No.	**Diámetro Nominal (cm)**	**longitud (cm)**	**longitud adoptada (cm)**
2	0.64	10.5	10.5
3	0.95	12.0	12.0
4	1.27	13.6	13.5
5	1.59	17.0	17.0
6	1.91	25.0	25.0
7	2.22	29.0	30.0
8	2.54	33.2	33.0
10	3.23	49.8	50.0

Fuente propia

1.4 Longitud de Desarrollo de Ganchos Estándar

La longitud de desarrollo se refiere a la distancia que debe extenderse el refuerzo, más allá de las secciones críticas de las vigas donde se encuentran los esfuerzos máximos, con el fin de lograr el equilibrio en las fuerzas de adherencia que deben existir entre el concreto y el acero. En este caso, para los ganchos estándar se define la longitud desarrollo como la distancia que debe existir, entre la sección crítica y el gancho estándar, como se evidencia en la *Figura 4*. Longitud de desarrollo de ganchos estándar.

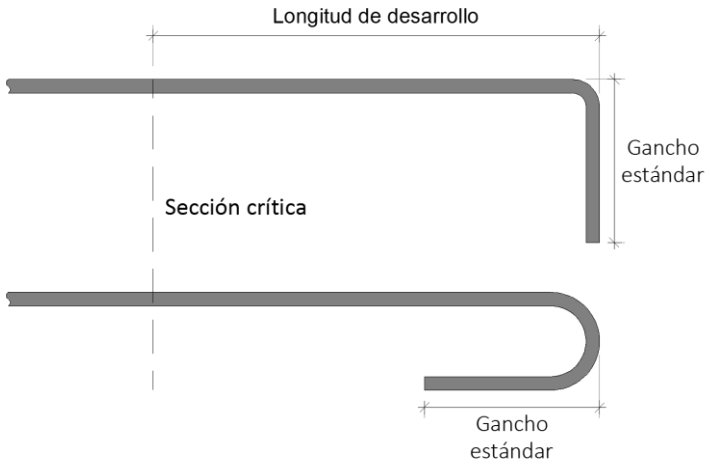


Figura 4. Longitud de desarrollo de ganchos estándar
Fuente propia

La longitud de desarrollo de ganchos estándar en tracción se determina por medio de la siguiente formula, según C.12.5.2 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C226):

$$l_{dh} = \left(\frac{0.075 \Psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

Donde, Ψ_e es un factor de modificación para revestimiento con epóxico, λ es un factor de modificación para concreto liviano, y d_b es el diámetro de la barra.

En C.12.5.2 también se especifica que la longitud de desarrollo para ganchos estándar no debe ser menor de 8db ni 150mm. En la *Tabla 10.* Longitudes de desarrollo ganchos estándar, se encuentran los valores de dichas longitudes obtenidas de la anterior formula.

Tabla 10. Longitudes de desarrollo ganchos estándar

LONGITUDES DE DESARROLLO PARA GANCHOS ESTANDAR EN TRACCIÓN											
#	**Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)**										
	210	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**
3	21	19	18	17	16	15	15	15	15	15	15
4	28	26	24	23	21	20	20	19	18	17	17
5	35	32	30	28	27	26	24	23	23	22	21
6	42	38	36	34	32	31	29	28	27	26	25
7	48	45	42	39	37	36	34	33	32	31	30
8	55	51	48	45	43	41	39	38	36	35	34
10	70	65	61	57	54	52	50	48	46	44	43

Fuente propia

En algunos casos, la distancia entre la sección crítica y el gancho estándar es menor que la longitud de desarrollo de la tabla anterior, así que es necesario colocar estribos

paralelos o perpendiculares a la barra con gancho estándar, para poder reducir la longitud de desarrollo al 80% según C.12.5.3. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C226). En este caso, las longitudes de desarrollo serán las que se muestran en la *Tabla 11.* Longitudes de desarrollo ganchos estándar. Factor: 0.8.

Tabla 11. Longitudes de desarrollo ganchos estándar.
Factor: 0.8

LONGITUDES DE DESARROLLO PARA GANCHOS ESTANDAR EN TRACCIÓN – FACTOR: 0.8											
#	Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)										
	210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	560
3	17	15	14	13	13	12	12	12	12	12	12
4	22	20	19	18	17	16	16	15	14	14	14
5	28	26	24	23	21	20	20	19	18	17	17
6	33	31	29	27	26	25	23	23	22	21	20
7	39	36	33	32	30	29	27	26	25	24	24
8	44	41	38	36	34	33	31	30	29	28	27
10	56	52	49	46	44	41	40	38	37	36	34

Fuente propia

En voladizos, vigas simplemente apoyadas, y los extremos de elementos que concurren a un nudo, se deben colocar estribos confinados con una separación de 3db a lo largo de l_{dh}, según C.12.5.4 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C228)

1.5 Empalmes por Traslapo

En el archivo de Excel **“Empalmes por traslapo”**, ubicado en Z:\Formatos-tecnicos\NSR-10\Vigas, se encuentran las longitudes para traslapar dos barras de refuerzo en vigas. Dichas longitudes dependen de la zona en donde se realicen los traslapos, y si se trata de refuerzo superior o inferior, como se explicará más adelante.

Los empalmes por traslapo se definen a partir de las expresiones que representan la longitud de desarrollo para el refuerzo en tracción, según el diámetro de la barra. Las formulas generales son las siguientes y están descritas en C.12.2.2 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C222):

A. Para barras No. 6 o menores:

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{6.6\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

B. Para barras No. 7 y mayores:

$$l_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{5.3\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

Donde, Ψ_t es un factor de modificación con base en la localización del refuerzo, para refuerzo superior es igual a 1.3 y para refuerzo inferior es igual a 1; y Ψ_e es un factor de modificación para recubrimientos con epóxico, puede ser 1.5, 1.2 ó 1. Ver C.12.2.4 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C224).

El archivo **“Empalmes por traslapo”** se encuentra divido en cuatro hojas de cálculo, tituladas de la siguiente manera:

A. Clase A-RS: Empalmes por traslapo Clase A para refuerzo superior, aplica cuando el traslapo se hace en el tercio medio de la luz. (DMI, DMO)
B. Clase A-RI: Empalmes por traslapo Clase A para refuerzo inferior, aplica cuando el traslapo se hace cerca al apoyo. (DMI, DMO)
C. Clase B-RS: Empalmes por traslapo Clase B para refuerzo superior, aplica cuando el traslapo se hace a una distancia de 2h medida desde la cara del apoyo. También aplica para vigas con primera y segunda etapa como se indica en el capítulo 6. Requerimientos Adicionales. (DES)
D. Clase B-RI: Empalmes por traslapo Clase B para refuerzo inferior, aplica cuando el traslapo se hace a una distancia de 2h medida desde la cara del apoyo al igual que en el refuerzo superior, es decir, que tanto el refuerzo superior como el inferior están traslapados en la misma zona. También aplica para vigas con primera y segunda etapa como se indica en el capítulo 6. Requerimientos Adicionales. (DES)

La razón por la cual en estructuras con disipación de energía especial (DES), los traslapos se hacen en la misma zona tanto en el refuerzo superior como en el refuerzo inferior, es porque en DES los traslapos deben ser confinados con estribos, con una separación de d/4 ó 100 mm, el que sea menor, según C.21.5.2.3 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C378). Con el fin de evitar confinar toda la viga, se elige una sola zona de traslapo en cada tramo. Esto hace que los traslapos en vigas DES sean Clase B, y deban ser aumentados en 1.3 según C.12.15.1 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C244).

Teniendo en cuenta que los empalmes por traslapo Clase A son iguales a la longitud de desarrollo ld, y los empalmes por traslapo Clase B son iguales a $1.3ld$, se han calculado las longitudes de los empalmes por traslapo resumidas en las siguientes tablas. Cabe resaltar que cuando dos barras de diferente diámetro se traslapan, la longitud de empalme que debe escogerse es la mayor, según C.12.15.3 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C246).

Tabla 12. Empalmes por traslapo adoptados para refuerzo superior (cm) – Clase A

EMPALMES POR TRASLAPO ADOPTADOS PARA REFUERZO SUPERIOR (cm) - CLASE A											
#	Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)										
	210	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**
2	40	35	35	30	30	30	30	30	30	30	30
3	55	55	50	45	45	45	40	40	40	35	35
4	75	70	65	60	60	55	55	50	50	50	45
5	95	85	80	75	75	70	65	65	60	60	60
6	110	105	95	90	85	85	80	75	75	70	70
7	160	150	140	130	125	120	115	110	105	100	100
8	185	170	160	150	140	135	130	125	120	115	115
10	230	215	200	190	180	170	165	160	155	150	145

Fuente propia

Tabla 13. Empalmes por traslapo adoptados para refuerzo inferior (cm) – Clase A

EMPALMES POR TRASLAPO ADOPTADOS PARA REFUERZO SUPERIOR (cm) - CLASE A											
#	Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)										
	210	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**
2	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3	45	40	40	35	35	35	30	30	30	30	30
4	60	55	50	50	45	45	40	40	40	40	35
5	70	65	65	60	55	55	50	50	50	45	45
6	85	80	75	70	65	65	60	60	55	55	55
7	125	115	110	100	95	90	90	85	80	80	75
8	140	130	125	115	110	105	100	95	95	90	90
10	180	165	155	145	140	135	125	120	120	115	110

Fuente propia

Tabla 14. Empalmes por traslapo adoptados para refuerzo superior (cm) – Clase B

EMPALMES POR TRASLAPO ADOPTADOS PARA REFUERZO SUPERIOR (cm) - CLASE A											
#	Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)										
	210	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**
2	50	45	45	40	40	40	40	40	40	40	40
3	75	70	65	60	55	55	50	50	50	45	45
4	95	90	85	80	75	70	70	65	65	60	60
5	120	110	105	100	95	90	85	85	80	75	75
6	145	135	125	120	110	105	105	100	95	90	90
7	210	190	180	170	160	155	150	140	135	130	130
8	235	220	205	195	185	175	170	160	155	150	145
10	300	280	260	245	235	225	215	205	200	190	185

Fuente propia

Tabla 15. Empalmes por traslapo adoptados para refuerzo inferior (cm) – Clase B

EMPALMES POR TRASLAPO ADOPTADOS PARA REFUERZO INFERIOR (cm) - CLASE B											
#	Resistencia a la compresión del concreto (kgf/cm²)										
	210	**245**	**280**	**315**	**350**	**385**	**420**	**455**	**490**	**525**	**560**
2	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
3	55	55	50	45	45	45	40	40	40	40	40
4	75	70	65	60	60	55	55	50	50	50	45
5	95	85	80	75	75	70	65	65	60	60	60
6	110	105	95	90	85	85	80	75	75	70	70
7	160	150	140	130	125	120	115	110	105	100	100
8	185	170	160	150	140	135	130	125	120	115	115
10	230	215	200	190	180	170	165	160	155	150	145

Fuente propia

Los anteriores temas deben ser tenidos en cuenta tanto para vigas como para viguetas. En los capítulos que se desarrollan a continuación, se especifican los requerimientos especiales de las vigas, según la capacidad de disipación de energía de la estructura a la cual pertenecen, y los requisitos adicionales para viguetas.

2. VIGAS CON DISIPACIÓN DE ENERGÍA MODERADA (DMO)

Los requisitos del diseño sismo resistente para vigas DMO se encuentran en el Titulo C.21, los cuales fueron resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 16. Requisitos para el diseño sismo resistente de vigas DMO

Concreto	$f'_c \geq 21\ Mpa$
Ancho de la viga	$b_w \geq 200mm$
Excentricidad	$e \leq 25\%$ del ancho del apoyo
Cuantía de refuerzo	$\rho \geq A_{smin}$ y no mayor de 0.025
Cantidad de refuerzo	Mínimo 2#4 continuas arriba y abajo.
Estribos	Colocar estribos de confinamiento mínimo #3 cerrados, a máximo 50 mm de la cara del apoyo, en una longitud de 2h.
	Espaciamiento máximo estribos de confinamiento, el menor de: - d/4 - 8db longitudinal más pequeña - 24db estribos - 300 mm
	Donde no se requiera confinamiento, los estribos deben estar separados máximo d/2.

Fuente: NSR-10

En el archivo **"Procedimientos de verificación"**, se encuentra la hoja de cálculo llamada **"Vigas DMO"**, por medio de la cual se verifica el cumplimiento de los requisitos del diseño sismo resistente, la cuantía requerida y adicionalmente, los requisitos por cortante del C.11. La hoja se encuentra divida en dos secciones, una de diseño a flexión y otra de diseño a cortante. Los datos principales que deben ser digitados son los siguientes:

A. $b_w\ (cm)$: Ancho de la viga
B. $h\ (cm)$: Altura de la viga
C. $M_u\ (t-m)$: Momento último
D. $f'_c\ (kg/cm^2)$: Resistencia a la compresión del concreto
E. $f_y\ (kg/cm^2)$: Resistencia a la fluencia del refuerzo

A continuación se explica paso a paso el funcionamiento de dicha hoja.

2.1 Diseño a Flexión Vigas DMO

A. Cuantías y área de refuerzo requerida: En esta sección se analiza si la cuantía requerida se encuentra entre la cuantía mínima y máxima, y se calcula la cantidad y el diámetro del refuerzo longitudinal.

B. Resistencia a momento positivo ≥ 1/3 Resistencia a momento negativo: "La resistencia a momento positivo en la cara del nudo no debe ser menor que un tercio de la resistencia a momento negativo proporcionada en esa misma cara del nudo", según C.21.3.4.4 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C371). Por

lo tanto, se debe ingresar en las casillas de As momento positivo (cm²) y As momento negativo (cm²), el área de refuerzo asignado en la cara del nudo donde se requiere confirmar para hacer la verificación.

C. Resistencia a momento positivo o negativo > 1/5 de la resistencia máxima a momento: Por la misma razón de la verificación anterior, en C.21.3.4.4 se indica que la resistencia a momento positivo o negativo, debe ser mayor o igual a un quinto de la resistencia al momento máximo en la cara de cualquier nudo. Ingrese el As del momento negativo o positivo (cm²) más pequeño, y el As del momento máximo (cm²) para hacer la verificación.

2.2 Diseño a Cortante Vigas DMO

A. Separación máxima de estribos en zona de confinamiento: Es el espaciamiento máximo indicado en la *Tabla 16.* Requisitos para el diseño sismo resistente de vigas DMO.

B. Separación máxima de estribos en el centro de la luz: Indica la separación máxima de estribos en la zona donde no hay confinamiento. Esta debe ser $d/2$ o 50 cm, el que sea menor, según lo establecido en PyP Proyectos. Ver C.11.4.6.1 y C.21.3.4.8 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, págs. C179-C371).

C. Chequeo separación de estribos cuando $V_u > 0.5\varphi V_c$: Cuando el cortante último sobrepasa un medio de la resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto (esto se visualiza en el diagrama de cortante de DC-CAD), se debe verificar que el área de refuerzo a cortante (Av cm²) sea mayor al área mínima de refuerzo a cortante (Avmin cm²), según C.1.4.6.1 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C179). Para el cálculo de las anteriores áreas de refuerzo se debe ingresar los siguientes datos:

- Estribos: Designación de los estribos #3 ó #4
- Ramas: Cantidad de ramas de refuerzo a cortante
- S (cm): Separación de los estribos en la zona donde $V_u > 0.5\varphi V_c$

Si al realizar la verificación se comprueba que $A_v < A_{vmin}$, entonces se debe disminuir la separación de los estribos hasta cumplir $A_v \geq A_{vmin}$.

D. Chequeos sobre φV_s: En esta sección se verifica que la resistencia nominal al cortante proporcionada por el acero no sea mayor que la resistencia nominal al cortante máxima, según C.11.4.7.9 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C183). Por otro lado, también se verifica que $\varphi V_s > \varphi 1.1\sqrt{f'_c} b_w d$, ya que si esto no se cumple la separación máxima en el centro de la luz se debe reducir a la mitad. C.11.4.5.3

E. Chequeo $V_u \leq \varphi V_n$: Por último, cuando en la viga existe un cortante último muy grande, es posible que este sobrepase la resistencia nominal máxima al cortante que resiste la sección. Por ello se debe verificar lo anterior según C.11.7.2. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C200).

NOTA: El alcance del presente manual no incluye el diseño de vigas altas. Para diseñar este tipo de elementos diríjase a C.11.7 y al apéndice C-A (Puntal tensor).

3. VIGAS CON DISIPACIÓN DE ENERGÍA ESPECIAL (DES)

Los requisitos del diseño sismo resistente para vigas DMO se encuentran en el Titulo C.21, los cuales fueron resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 17. Requisitos para el diseño sismo resistente de vigas DES

Concreto	$f'_c \geq 21\ Mpa$
Ancho de la viga	Mínimo el mayor entre 0.3h y 250 mm
	El ancho de la viga sólo puede exceder el ancho del apoyo en una longitud a cada lado representada por el menor entre: - El ancho del apoyo (columna) - 0.75 la dimensión perpendicular al ancho del apoyo C.21.5.1.3
Cuantía de refuerzo	$\rho \geq A_{smin}$ y no mayor de 0.025
Cantidad de refuerzo	Mínimo 2#4 continuas arriba y abajo.
Zonas donde no debe traslaparse el refuerzo	- Dentro de los nudos - 2h medidos desde la cara del nudo - Zonas de fluencia por flexión, es decir, donde el acero puede fluir cuando existe un comportamiento inelástico.
Estribos	Colocar estribos de confinamiento mínimo #3 cerrados, a máximo 50 mm de la cara del apoyo, en una longitud de 2h.
	Espaciamiento máximo estribos de confinamiento, el menor de: - d/4 - 6db longitudinal más pequeña - 24db estribos - 150 mm
	Espaciamiento mínimo de estribos en zonas de traslapo: el menor de d/4 y 100 mm
	Donde no se requiera confinamiento, los estribos deben estar separados máximo d/2.
Ancho de apoyo	El ancho del apoyo paralelo al refuerzo longitudinal de las vigas, no debe ser menor que 20 veces el diámetro de dichas barras.

Fuente: NSR-10

En el archivo **"Procedimientos de verificación"**, se encuentra la hoja de cálculo llamada **"Vigas DES"**, que en general guarda muchas similitudes con la hoja de cálculo para vigas DMO. Sin embargo, a continuación se explican las secciones donde existen diferencias entre ellas.

3.1 Diseño a Flexión Vigas DES

A. Resistencia a momento positivo ≥ 1/2 Resistencia a momento negativo: Para vigas DES, la resistencia a momento positivo debe ser mayor o igual a un medio de la resistencia a momento negativo, según C.21.5.2.2 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C378).

B. Resistencia a momento positivo o negativo > 1/4 de la resistencia máxima a momento: En este caso, para vigas DES, la resistencia a momento positivo o negativo debe ser mayor o igual a un cuarto de la resistencia al momento máximo en la cara de cualquier nudo, según C.21.5.2.2 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C378).

3.2 Diseño a Cortante Vigas DES

A. Separación máxima de estribos en zona de confinamiento: Es el espaciamiento máximo indicado en la *Tabla 17.* Requisitos *para el diseño sismo resistente de vigas DES*.

   Sin embargo, como la zona de confinamiento se extiende hasta la zona de traslapo en vigas DES, se utiliza en la verificación $100mm$ y no $150mm$, que es el mínimo de separación en la zona de traslapo, según C.21.5.2.3 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C378)

4. VIGAS CON DISIPACION DE ENERGIA MINIMA (DMI) Y VIGUETAS

Las vigas con disipación de energía mínima no tienen requisitos para el diseño sismo resistente, tan sólo se debe colocar dos barras longitudinales continuas arriba y abajo según C.21.2.2 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C367). Por lo tanto, las verificaciones que deben realizarse son las mismas, tanto para vigas DMI como para viguetas. En el archivo **"Procedimientos de verificación"**, se encuentra la hoja de cálculo llamada **"Vigas DMI-Viguetas"**, la cual se divide en dos secciones como las anteriores hojas de cálculo de Vigas DMO y DES.

4.1 Diseño a Flexión Vigas DMI y Viguetas

En esta sección se verifica que la cuantía requerida se encuentre entre la cuantía mínima y máxima, y se calcula la cantidad y el diámetro del refuerzo longitudinal.

Para viguetas, se verifica que el refuerzo constructivo asignado en el despiece más el refuerzo superior de la placa, paralelo al refuerzo constructivo, sea mayor que la cuantía mínima por retracción y temperatura.

4.2 Diseño a Cortante Vigas DMI y Viguetas

A. Separación máxima de estribos cerca al apoyo: La separación máxima del refuerzo a cortante debe ser d/2, según C.11.4.5.1 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C179).

B. Separación máxima en el centro de la luz: Dado que en el centro de la luz, por lo general no se requiere refuerzo a cortante, se pueden colocar estribos con una separación máxima de "d" o 50cm, el que sea menor.

Las demás verificaciones de diseño a cortante son las mismas de las vigas DMO y DES, donde se comprueba que el refuerzo a cortante sea mayor o igual al área de refuerzo mínima a cortante, cuando $V_u > 0.5\varphi V_c$; también se verifica la máxima resistencia a cortante que la sección puede soportar.

5. RECONOCIMIENTO DEL PROGRAMA DC-CAD

5.1 Generación de Solicitaciones en ETABS

Para comenzar a despiezar un nuevo proyecto en DC-CAD, es necesario generar desde ETABS el archivo "*.txt" con las solicitaciones, para ello siga la siguiente rutina:

A. Abra el archivo .EDB del correspondiente proyecto desde ETABS, y acepte el siguiente mensaje.

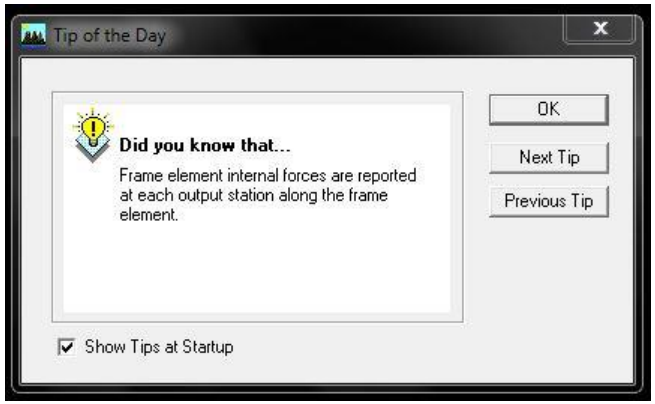


Figura 5. Inicio de Etabs
Fuente propia

B. Seleccione todos los elementos del proyecto tecleando **"Ctrl+A"**, o haciendo clic en .

C. Divida cada elemento estructural en 11 estaciones de la siguiente manera:

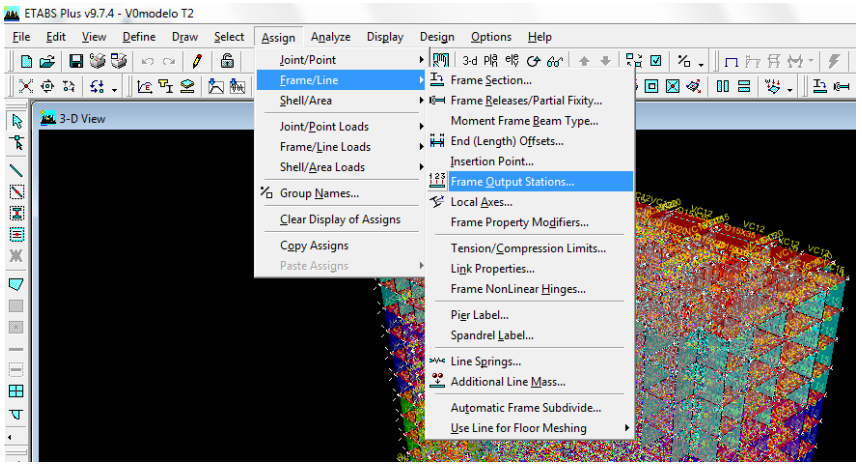


Figura 6. Dividir elementos en estaciones
Fuente propia

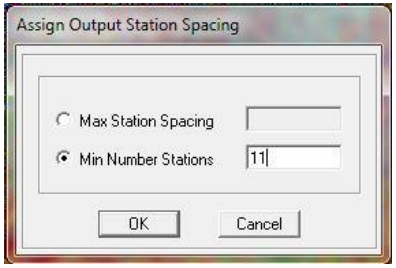


Figura 7. Número de estaciones
Fuente propia

D. Corra el modelo con **"F5"** o haciendo clic en .
E. Luego exporte las solicitaciones así:

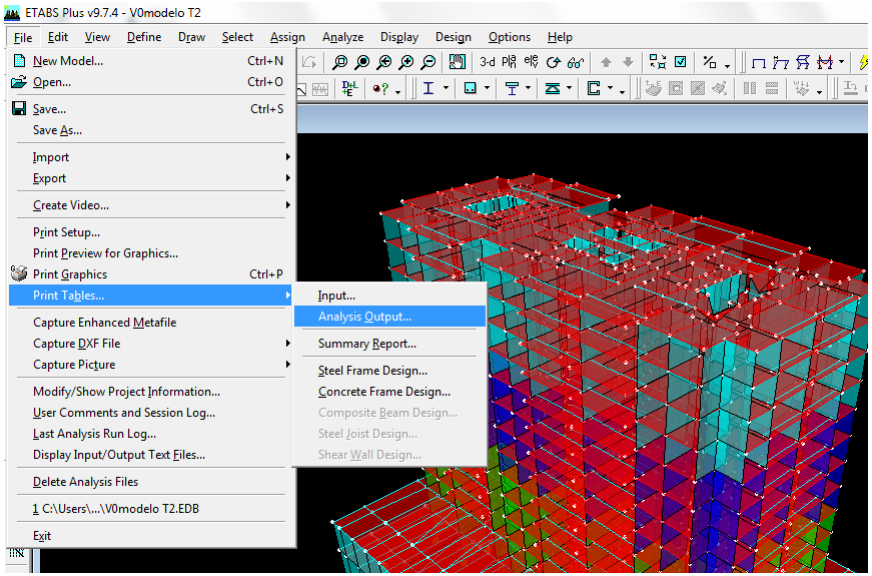


Figura 8. Exportación de solicitaciones
Fuente propia

F. Se activará el siguiente cuadro de dialogo:

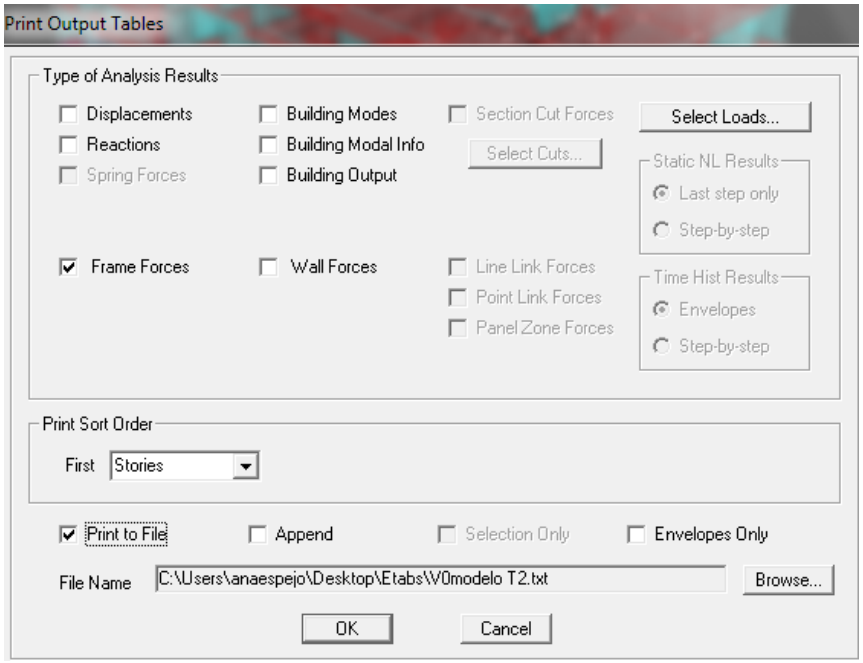


Figura 9. Variables para exportación de solicitaciones
Fuente propia

- En **“Type of Analysis Results”** deje seleccionado únicamente **“Frame Forces”**.
- En **“Select Loads”** elija las combinaciones de carga para vigas y columnas identificadas con los prefijos D y DV, que deben coincidir con las combinaciones del análisis sísmico.

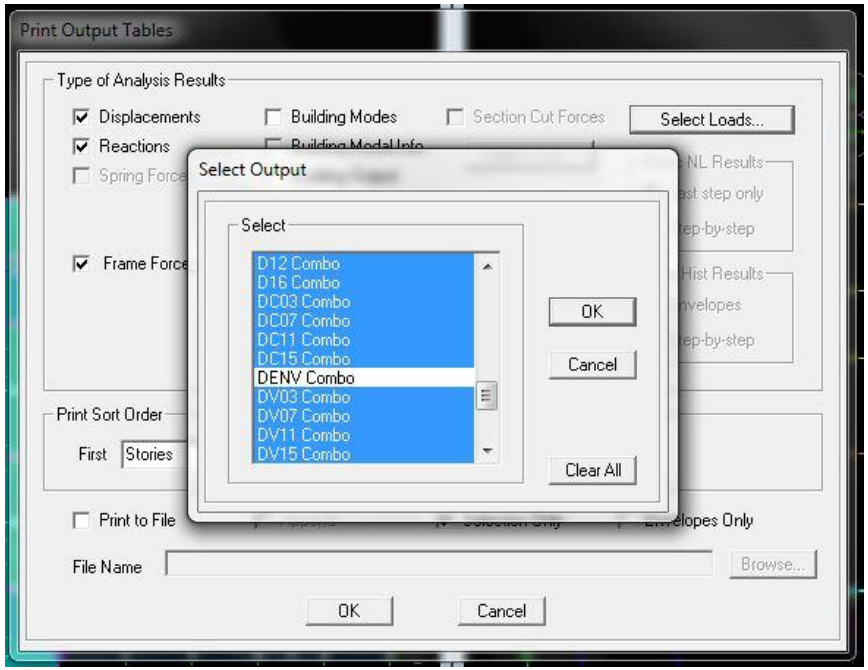


Figura 10. Combinaciones de carga
Fuente propia

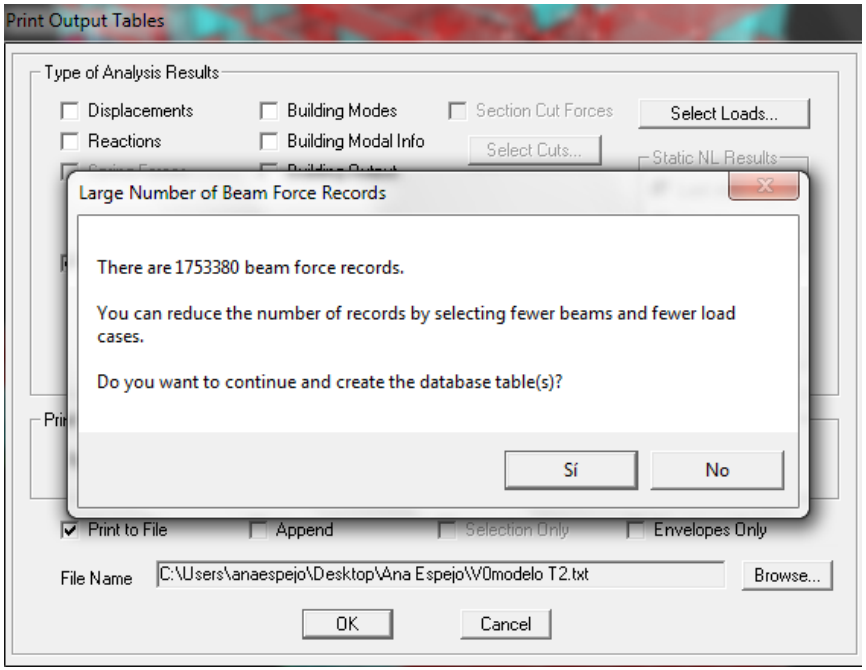


Figura 11. Generación solicitaciones
Fuente propia

- En **"Print Sort Order"** seleccione la opción **"Stories"**.
- Finalmente, seleccione la opción **"Pint to File"**, elija la ubicación donde desea guardar las solicitaciones, y haga clic en **"OK"**.

G. Acepte el mensaje **"Large Number of Beam Force Records"**.

De esta manera en la ubicación seleccionada aparecerá un archivo con extensión "*.txt", a partir del cual DC-CAD genera los diagramas de momento y cortante para asignar el refuerzo en las vigas.

5.2 Nuevo Proyecto en DC-CAD

Para un mejor entendimiento de los procedimientos que se explicarán en esta sección, es necesario leer el manual del

programa DC-CAD ubicado en la siguiente ruta: Z:\Biblioteca\manuales dcc.

Una vez generadas las solicitaciones desde ETABS, abra el programa DC-CAD, y siga las siguientes instrucciones:

Figura 12. Nuevo proyecto en DC-CAD
Fuente propia

A. Acepte las condiciones de uso de la licencia y elija la opción nuevo proyecto.
B. En el nuevo cuadro de dialogo, seleccione las opciones *Etabs 7.8.9, Metros* y *Kilogramos*, como se indica en la *Figura 12*. Nuevo proyecto en DC-CAD. Las unidades que se utilizan en PyP Proyectos son kilogramos y metros, las cuales deben coincidir con las unidades del modelo en ETABS.

C. Elija el archivo **".$ET"** del proyecto generado por ETABS, después de correr el modelo.

D. En el cuadro de dialogo de la *Figura 13*. Lectura de niveles, elija el nivel estructural que desea despiezar. Si el proyecto no es muy grande puede tener todas las vigas en el mismo archivo. Luego haga clic en salir.

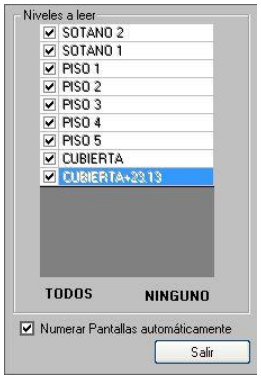


Figura 13. Lectura de niveles
Fuente propia

E. En el nuevo cuadro de dialogo de la *Figura 14.* Altura placa de cimentación, introduzca dicho valor consultándolo en los planos del proyecto. Luego haga clic en OK.

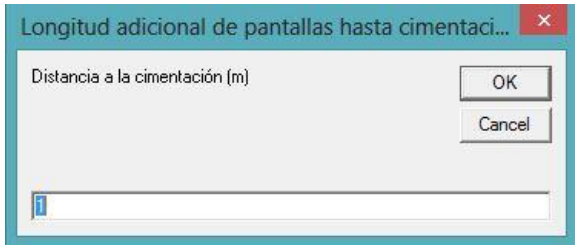


Figura 14. Altura placa de cimentación
Fuente propia

F. En el cuadro de dialogo de la *Figura 15.* Lectura de solicitaciones haga clic en aceptar y elija el archivo generado por ETABS **"*.txt"** con las solicitaciones.

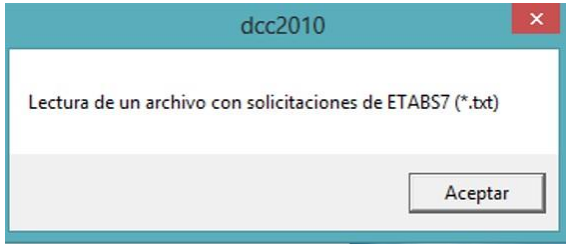


Figura 15. Lectura de solicitaciones
Fuente propia

G. En el nuevo cuadro de dialogo de la *Figura 16*. Solicitaciones importadas, haga clic en siguiente o asigne los colores de su preferencia.

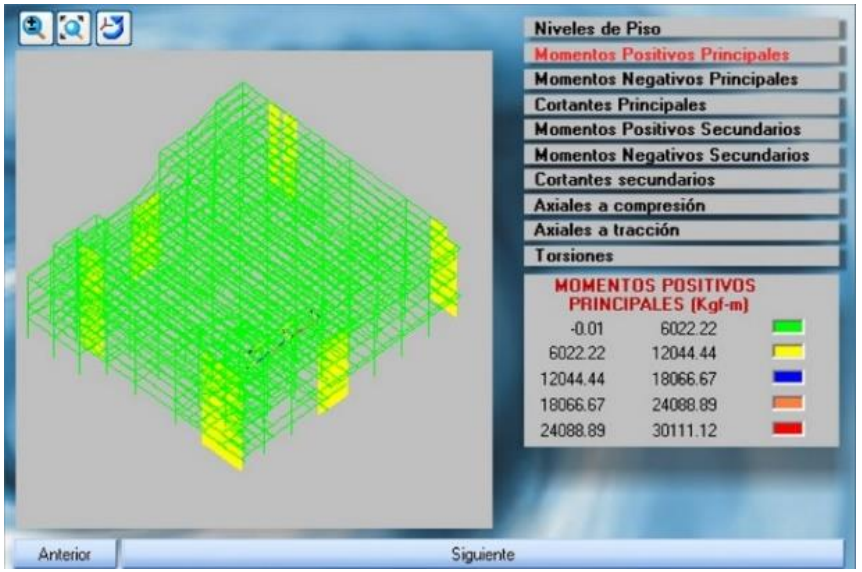


Figura 16. Solicitaciones importadas
Fuente propia

Una vez llevadas a cabo las anteriores instrucciones, DC-CAD activa el entorno de la *Figura 17*. Menú principal de DC-CAD.

Figura 17. Menú principal de DC-CAD
Fuente propia

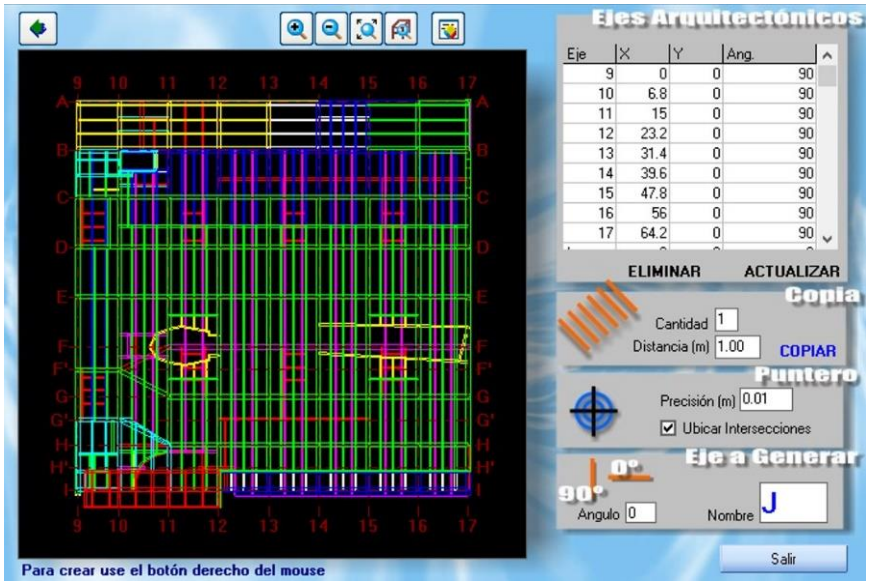


Figura 18. Ejes arquitectónicos en DC-CAD
Fuente propia

A. En el menú **"Revisión"** se pueden verificar los rangos en los cuales se encuentran las cuantías y las solicitaciones del proyecto. Este menú es opcional.

B. En el listado de **"Creación"** se encuentra la opción **"Ejes Arquitectónicos"**, donde se deben verificar que todos los ejes de arquitectura estén en el modelo. Si hace falta alguno genérelo a partir de uno existente con la opción copiar.

C. En el menú de **"Numeración"** encontrará la opción **"Niveles de Piso"**, en la cual puede asignar el nombre de cada nivel estructural según los planos del proyecto. Ejemplo: Si un nivel en ETABS se llama NE+17.33, indique que es el Piso X como generalmente esta en los planos. También verifique el nivel estructural de cada piso, y cambie los colores de las vigas y las viguetas a su gusto.

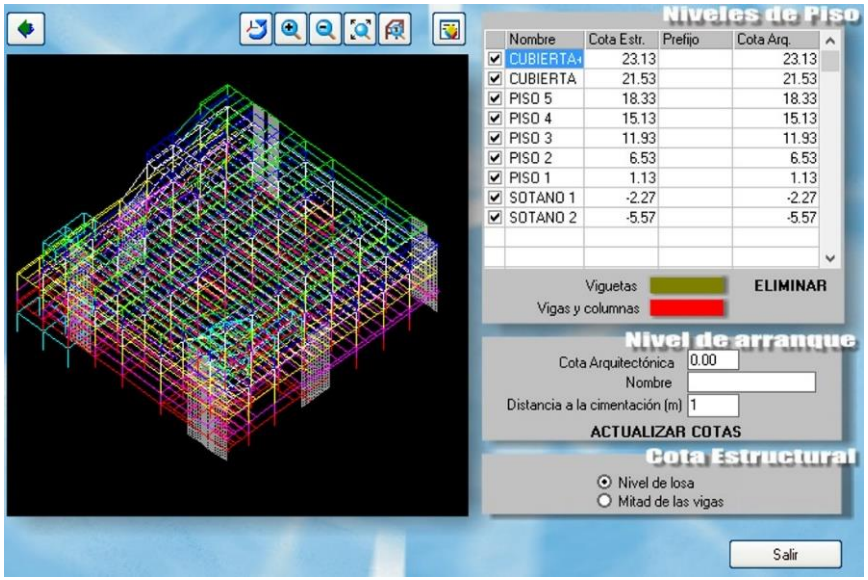


Figura 19. Niveles de piso en DC-CAD
Fuente propia

D. En el listado de **"Numeración"** también se encuentra la opción **"Vigas y viguetas"**, que funciona como se indica en la *Figura 20*. Numeración de vigas en DC-CAD .

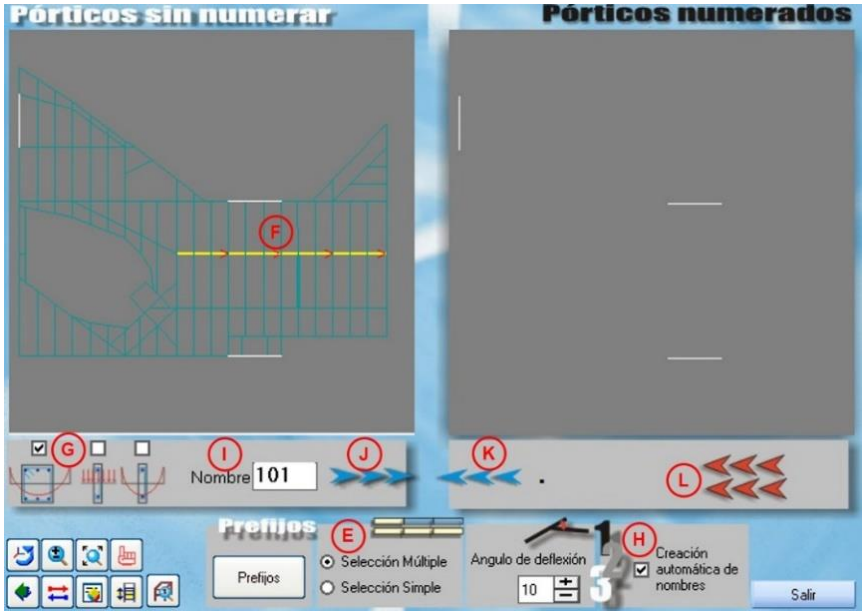


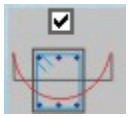
Figura 20. Numeración de vigas en DC-CAD
Fuente propia

E. Haga clic en **"selección múltiple"** que le permite seleccionar una serie de vanos consecutivos con un solo clic y no uno por uno.

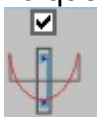
F. Seleccione el elemento que desea enumerar.

G. Haga clic en el tipo de elemento que está enumerando, teniendo en cuenta lo siguiente:

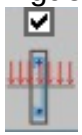
- Si es una viga que proviene de un modelo de ETABS, indique que es una viga con solicitaciones



- Si es una vigueta que proviene de un modelo de ETABS, indique que es una vigueta con solicitaciones.



- Si NO es una viga o vigueta que proviene de un modelo de ETABS, y fue creada en DC-CAD, indique que es una vigueta con cargas.



H. Active la opción **"creación automática de nombres"**.

I. Designe el número del primer elemento a partir del cual se generarán los consecutivos. Tenga en cuenta la siguiente numeración según el piso al cual pertenecen las vigas o viguetas:
   - Cimentación: 001
   - Primer piso aéreo: 101
   - Segundo piso aéreo: 201, etc.

   Cuando existen más de 100 elementos por piso usar la siguiente nomenclatura:
   - Cimentación: 0001
   - Primer piso aéreo: 1001
   - Segundo piso aéreo: 2001, etc.

J. Ejecute la numeración del elemento pasándolo al lado derecho en **"Pórticos numerados"**.

K. Si desea cambiar la numeración de un elemento, páselo al lado izquierdo en **"Pórticos sin numerar"**, y siga los mismos pasos anteriores.

L. Con este botón se pasan todos los elementos al lado izquierdo para volver a enumerar todo nuevamente.

Figura 21. Menú principal de DC-CAD
Fuente propia

M. En el menú de **"Reforzamiento"** también encontrará la opción **"Vigas y viguetas"**, donde podrá asignar el

refuerzo a cada elemento según las solicitaciones importadas desde ETABS. Una vez haya seleccionado del menú **"Reforzamiento"** la opción **"Vigas y viguetas"**, se visualizará el entorno de la *Figura 22*. Reforzamiento de vigas y viguetas en DC-CAD:

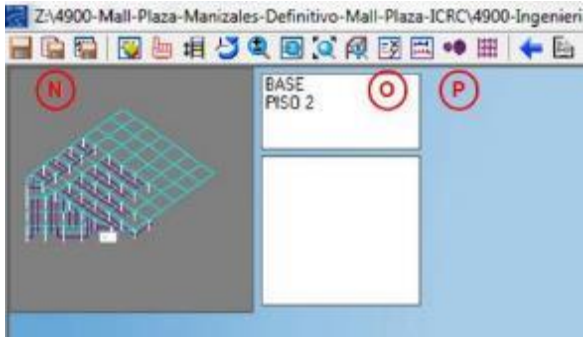


Figura 22. Reforzamiento de vigas y viguetas en DC-CAD
Fuente propia

N. Guarde el proyecto, según la nomenclatura sugerida a continuación:

Figura 23. Nomenclatura archivos en DC-CAD
Fuente propia

a. Número del proyecto.
b. Torre, edificio o plazoleta que se está despiezando, puede ser T1, E1, PZ1, etc.
c. Contenido del archivo, en este caso vigas.
d. Es opcional, si se separa en varios archivos los despieces indique a que piso o sótano corresponden, puede ser CM, S1, P1, etc. Se recomienda por lo menos separar las vigas aéreas de las vigas de cimentación.

   Siempre que quiera guardar una modificación en DC-CAD, utilice guardar como y sobre escriba el archivo para evitar errores.

O. Esta es la opción **"Variables"**. Para entender mejor el manejo de esta herramienta, diríjase a la sección de variables fijas en DC-CAD del presente manual.

P. La opción **"Barras de refuerzo"** permite asignar las longitudes de ganchos estándar y empalmes por traslapo. Según los cálculos explicados en el capítulo 1. Procedimientos de Verificación, se han generado los siguientes archivos ubicados en la ruta Z:\Formatos-tecnicos\variables DC-CAD\barras de refuerzo.

- TCA-21MPA: Traslapos clase A para f'c= 21 MPa
- TCA-24.5MPA: Traslapos clase A para f'c= 24.5 MPa
- TCA-28MPA: Traslapos clase A para f'c= 28 MPa
- TCA-31.5MPA: Traslapos clase A para f'c= 31.5 MPa
- TCA-35MPA: Traslapos clase A para f'c= 35 MPa
- TCA-38.5MPA: Traslapos clase A para f'c= 38.5 MPa
- TCA-42MPA: Traslapos clase A para f'c= 42 MPa
- TCA-45.5MPA: Traslapos clase A para f'c= 45.5 MPa
- TCA-49MPA: Traslapos clase A para f'c= 49 MPa

- TCA-52.5MPA: Traslapos clase A para f'c= 52.5 MPa
- TCA-56MPA: Traslapos clase A para f'c= 56 MPa
- TCB-21MPA: Traslapos clase B para f'c= 21 MPa
- TCB-24.5MPA: Traslapos clase B para f'c= 24.5 MPa
- TCB-28MPA: Traslapos clase B para f'c= 28 MPa
- TCB-31.5MPA: Traslapos clase B para f'c= 31.5 MPa
- TCB-35MPA: Traslapos clase B para f'c= 35 MPa
- TCB-38.5MPA: Traslapos clase B para f'c= 38.5 MPa
- TCB-42MPA: Traslapos clase B para f'c= 42 MPa
- TCB-45.5MPA: Traslapos clase B para f'c= 45.5 MPa
- TCB-49MPA: Traslapos clase B para f'c= 49 MPa
- TCB-52.5MPA: Traslapos clase B para f'c= 52.5 MPa
- TCB-56MPA: Traslapos clase B para f'c= 56 MPa

Para utilizar los anteriores archivos haga clic en el botón **"Barras de refuerzo"**, en el nuevo cuadro de diálogo, diríjase a **"Archivo librería de barras – Abrir librería de barras"**, y cargue el archivo que aplique en su caso.

NOTA: Cuando la altura de la viga o vigueta es menor o igual a 30cm, los empalmes por traslapo para refuerzo superior deben ser iguales a los del refuerzo inferior, y deben ser cambiados manualmente. Siempre verifique las longitudes de los ganchos estándar, y la longitud de los traslapos entre barras de diferente diámetro.

Figura 24. Menú principal de DC-CAD
Fuente propia

Q. Puede guardar el archivo desde la interface del menú principal como se muestra en la *Figura 24*. Menú principal de DC-CAD.

5.3 Variables Fijas en DC-CAD

En la opción **"variables"** mencionada en el literal O de la sección anterior, se configuran las variables fijas con las cuales se deben diseñar los elementos tipo viga o vigueta. Para ello se han generado los siguientes archivos ubicados en la ruta Z:\Formatos-tecnicos\variables DC-CAD\Variables fijas.

- VG-AR-DMO: Variables fijas para vigas aéreas (DMO) y viguetas.
- VG-CM-DMO: Variables fijas para vigas de cimentación (DMO) y viguetas.
- VG-AR-DES: Variables fijas para vigas aéreas (DES) y viguetas.
- VG-CM-DES: Variables fijas para vigas de cimentación (DES) y viguetas.
- VG-AR-DMI: Variables fijas para vigas aéreas (DMI) y viguetas.
- VG-CM-DMI: Variables fijas para vigas de cimentación (DMI) y viguetas.

Para utilizar los anteriores archivos haga clic en el botón **"Variables"**. En el cuadro de dialogo que se activa diríjase a **"Archivo- Abrir"**, y busque el archivo que necesite. Acepte el mensaje **"LECTURA DE VARIABLES"**.

A continuación se explican los valores asignados en los archivos de variables fijas para mayor entendimiento del usuario.

5.3.1 VG-AR-DMO: Variables Fijas para Vigas Aéreas (DMO) y Viguetas.

Al hacer clic en la opción **Variables** aparecerá el siguiente cuadro de dialogo, con las opciones **"Normas y combinaciones, Barras de Refuerzo, Concreto y Tendencia del refuerzo"**.

5.3.1.1 Normas y combinaciones para vigas DMO:

Figura 25. Normas y combinaciones para vigas DMO
Fuente propia

A. Las combinaciones de carga que aparecen en pantalla, son las mismas combinaciones seleccionadas desde ETABS cuando se generó el archivo con las solicitaciones, y que provienen, a su vez, del análisis sísmico, el cual se debe consultar si se tienen dudas al respecto. En este caso, para vigas se deben activar las casillas de momento (M) y cortante (V), en las combinaciones de carga vertical (D001-D003); activar

solamente la casilla de momento (M), en las combinaciones de diseño a flexión (D); y activar únicamente la casilla de cortante (V), en las combinaciones de diseño a cortante (DV).

B. En este caso por tratarse de vigas DMO se elige Colombia/NSR-10/DMO-Moderada.

C. Las vigas y viguetas son diseñadas a flexión y a corte en DC-CAD. La torsión se debe calcular a mano, ya que el programa no redistribuye los momentos como lo permite la norma. Por ello se asigna el valor de 0.5, que es un aproximado de la torsión real, y no se diseña a torsión.

5.3.1.2 Normas y combinaciones para viguetas aéreas:

Los únicos valores que cambian en comparación con las vigas, son los indicados en la *Figura 26.* Normas y combinaciones para viguetas aéreas.

Figura 26. Normas y combinaciones para viguetas aéreas
Fuente propia

A. Las combinaciones de carga para diseñar viguetas son únicamente las de carga vertical.

B. En norma se elige Colombia/NSR-10/No sísmico, ya que las viguetas no hacen parte del sistema de resistencia sísmico.

5.3.1.3 Barras de refuerzo para vigas DMO:

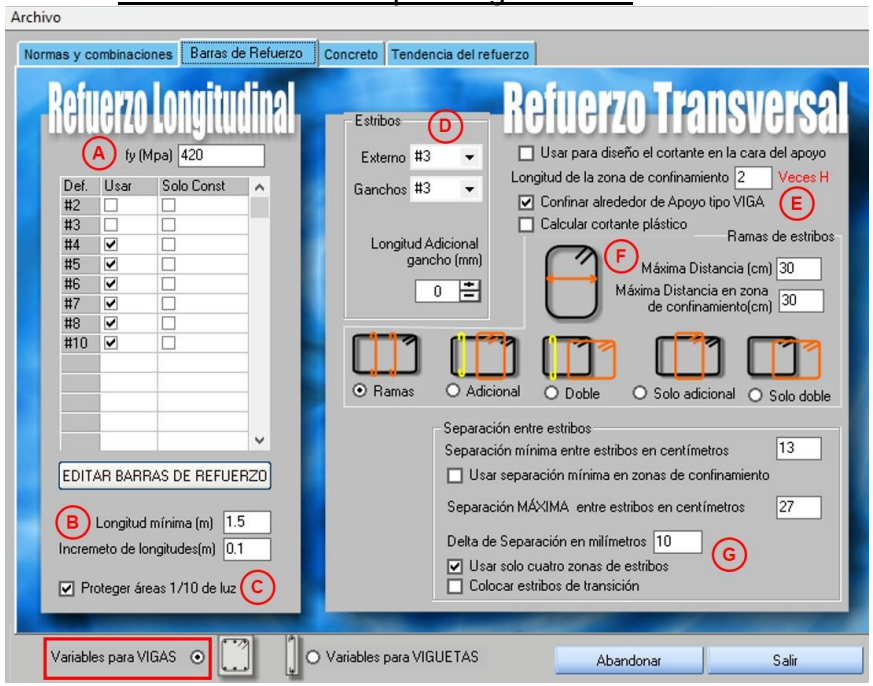


Figura 27. Barras de refuerzo para vigas DMO
Fuente propia

A. La resistencia a la fluencia del acero debe ser 420 MPa según el título C de la NSR-10, y para vigas se deben utilizar barras desde #4 hasta #10.

B. La longitud mínima de las barras se determinó en P&P Proyectos de 1.5m, con incrementos de 10cm.

C. Se deben proteger áreas de 1/10 de la luz para garantizar el desarrollo de barras individuales.

D. En vigas los estribos deben ser mínimo #3. Cuando se tienen solicitaciones para vigas grandes, se podrá usar flejes #4, si la separación entre estos no permite ya usar #3, y en caso de solicitaciones muy grandes, se podrán usar flejes #5.

E. Según C.21.3.4.6 se debe confinar en una longitud de 2h. Se debe tener activa la opción de confinar alrededor del apoyo tipo viga.

F. La separación entre ramas de 30mm, es una aproximación para que el programa coloque una rama cada dos barras longitudinales. Por facilidad en la construcción, en P&P Proyectos se usan ramas y no flejes cerrados adicionales.

G. La separación mínima de estribos la calcula el programa a partir de los requerimientos de la norma NSR-10. Sin embargo, esta debe ser revisada con los procedimientos de verificación, como se ha indicado en los capítulos anteriores. Para el caso en que la separación mínima sea menor que d/4, según los procedimientos de verificación, debe colocarse el valor obtenido en esta casilla, y activar la opción **“Usar separación mínima en zonas de confinamiento”**.

H. La separación máxima debe ser d/2 pero no mayor a 50cm. El delta de separación de los estribos en P&P Proyectos se hace con incrementos de un centímetro (10 mm), y sólo se deben utilizar cuatro zonas de transición, a menos que se quiera optimizar más el refuerzo a cortante como por ejemplo en vigas con luces largas.

5.3.1.4 Barras de refuerzo para viguetas aéreas:

Los valores que cambian en comparación con las vigas son los siguientes.

Figura 28. Barras de refuerzo para viguetas aéreas
Fuente propia

A. Se utilizan barras #2 o #3 para el refuerzo constructivo, y para el refuerzo longitudinal se utilizan barras #4 a #8.
B. Los estribos son #2 pero se puede utilizar hasta #3 si se requiere.
C. En viguetas no se requiere zona de confinamiento, sin embargo, cuando el cortante supera $0.5\varphi Vc$ es necesario colocar flejes mínimo cada d/2, como se indicó en el capítulo 4. Vigas DMI y viguetas.
D. La separación mínima, como ya se mencionó, debe ser d/2, y máximo d o 50cm el que sea menor.

5.3.1.5 Concreto para vigas DMO:

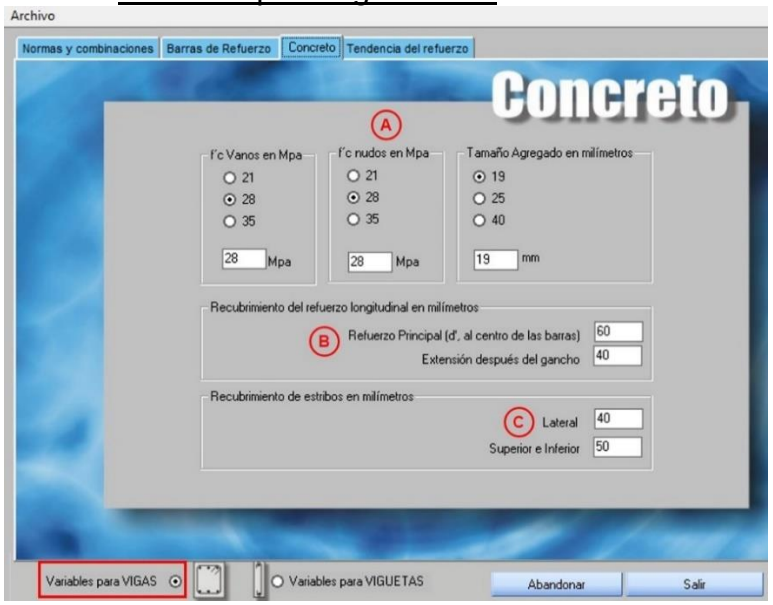


Figura 29. Concreto para vigas DMO
Fuente propia

A. Se debe colocar el concreto de las vigas en los vanos, y en los nudos, el utilizado en las columnas. El tamaño del agregado no influye ya que, en la tendencia del refuerzo, se asignará el mínimo y el máximo de barras que se debe colocar según el ancho de la viga.

B. d'' es utilizado para calcular la altura efectiva. En vigas y viguetas se puede utilizar 6cm. La extensión después del gancho es el mismo recubrimiento lateral de la viga.

C. Según C.7.7.1 los recubrimientos para vigas aéreas son de 4cm. Para el recubrimiento superior e inferior en PyP Proyectos se utiliza 5cm, debido a la posición del refuerzo en el nudo. Ver detalle de recubrimientos de vigas y viguetas en el **"Plano No.1.3 Detalles Despieces"**, que se encuentra en la siguiente ruta Z:_Bloques-P&P_PROTOTIPOS

5.3.1.6 Concreto para viguetas aéreas:

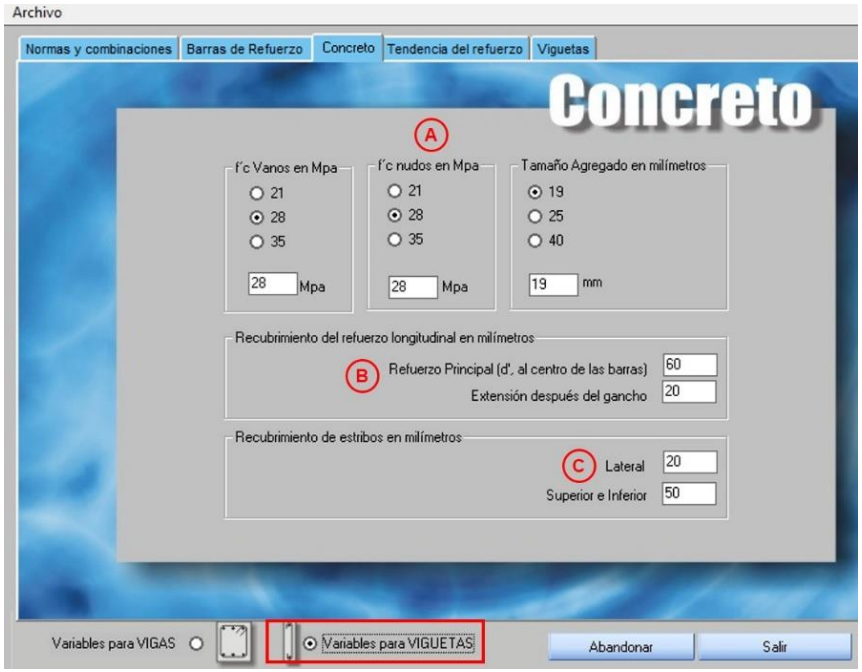


Figura 30. Concreto para viguetas aéreas
Fuente propia

A. Asignar el concreto de las viguetas en los vanos, y el de las vigas en los nudos, por lo general es el mismo.

B. En este caso la extensión del gancho es de 2cm.

C. Según C.7.7.1 para viguetas el recubrimiento puede ser de 2cm, aunque esto sólo aplica para viguetas con anchos ≤25 cm como se indicó en el capítulo 1. Procedimientos de Verificación.

5.3.1.7 Tendencia del refuerzo superior para vigas DMO:

Se utilizan dos grupos **“Compensado”** y **“Continuo”**.

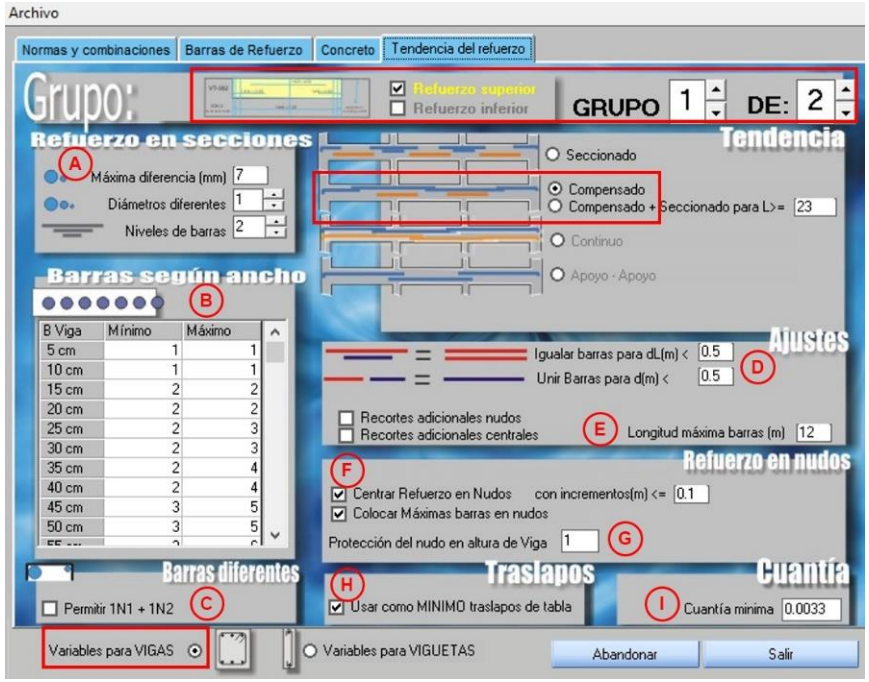


Figura 31. Tendencia del refuerzo superior para vigas DMO – Grupo 1
Fuente propia

El Grupo 1 - Compensado se utiliza cuando se desea optimizar el refuerzo, dejando continuas la mínima cantidad de barras, y concentrando el refuerzo adicional en los nudos.

A. Se permiten hasta dos diámetros de diferencia, pero al programa se le permite sólo uno con dos niveles de barras, para que asigne refuerzo en paquete si así lo requiere la viga.

B. El mínimo y el máximo número de barras de refuerzo superior se encuentra en el archivo Procedimientos de verificación en la pestaña Cantidad Refuerzo.

C. No se debe permitir que cuando se requieran tan sólo dos barras continuas se coloquen de diferentes diámetros. Es por ello que no se activa esta opción.

D. Los valores de 0.5 para igualar o unir barras, pueden ser modificados para que el refuerzo concentrado en el nudo, sea sólo una cantidad de barras con una misma longitud. Ej: 3#8 L=4.90 y no 2#8 L=4.90 + 1#8 L=4.00. Esto depende de la optimización que el ingeniero desee para su despiece.

E. La longitud máxima de una barra de refuerzo en el mercado es de 12m.

F. Como se indicó antes, lo ideal es que se coloque el máximo número de barras en los nudos, y se conserva el incremento de las barras de 10cm, asignado en las variables de barras de refuerzo.

G. La protección de la viga se utiliza para que no se hagan traslapos cerca de las zonas de máximo esfuerzo.

H. Esta opción debe estar activa para que el programa utilice las tablas de empalmes por traslapo importadas, como se indicó en la sección de Nuevo Proyecto en DC-CAD de este documento.

I. La cuantía mínima depende de la resistencia a la compresión del concreto, este valor debe ser consultado en el archivo **"Procedimientos de verificación"** en la pestaña Cuantías.

Con la configuración anterior el refuerzo superior se visualizará como se muestra en la *Figura 40.* Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas DMO – Grupos Tipo 1.

El Grupo 2 – Continuo se utiliza en el refuerzo superior cuando se requiere cuantía mínima. Lo único que cambia en este grupo es lo siguiente:

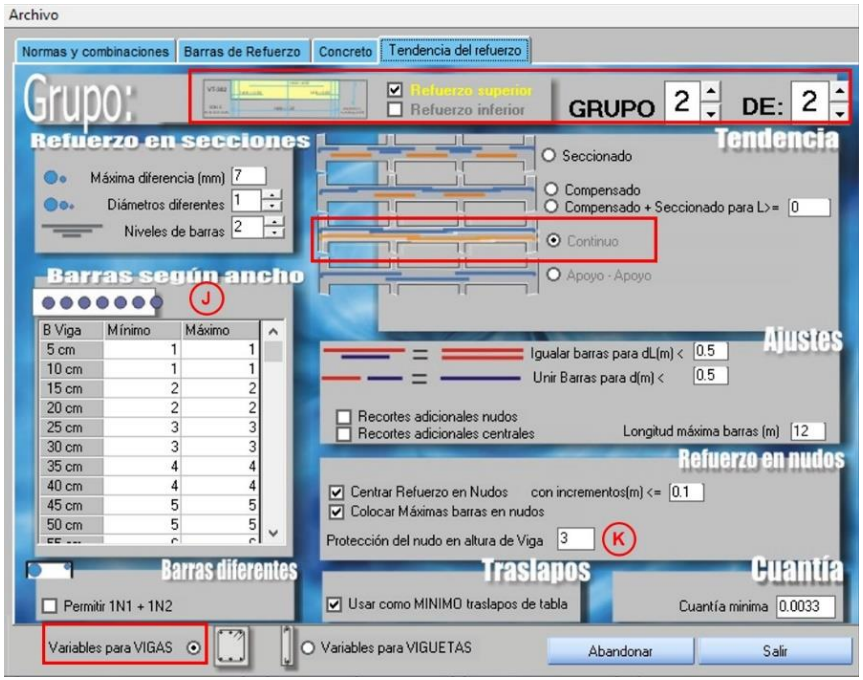


Figura 32. Tendencia del refuerzo superior para vigas DMO– Grupo 2
Fuente propia

J. Si el refuerzo es continuo quiere decir que se colocará la máxima cantidad de barras a lo largo de la viga, es por ello que los valores de mínimo y máximo en este caso son iguales.

K. Se protege el nudo en 3h para que el programa no genere el traslapo tan cerca al apoyo. Este valor varía según la altura y la longitud del vano. El usuario puede modificarla a su gusto.

Con la configuración anterior, el refuerzo superior se visualizará como se muestra en la *Figura 41*. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas DMO – Grupos Tipo 2.

5.3.1.8 Tendencia del refuerzo inferior para vigas DMO: Se utilizan dos grupos **"Continuo"** y **"Apoyo-Apoyo"**.

El Grupo 1 – Continuo para refuerzo inferior es el utilizado en todos los casos, como se evidencia en la *Figura 33.* Tendencia del refuerzo inferior para vigas DMO– Grupo 1, las variables son iguales a las del Grupo 2 del refuerzo superior sólo que no se concentra el refuerzo en los nudos.

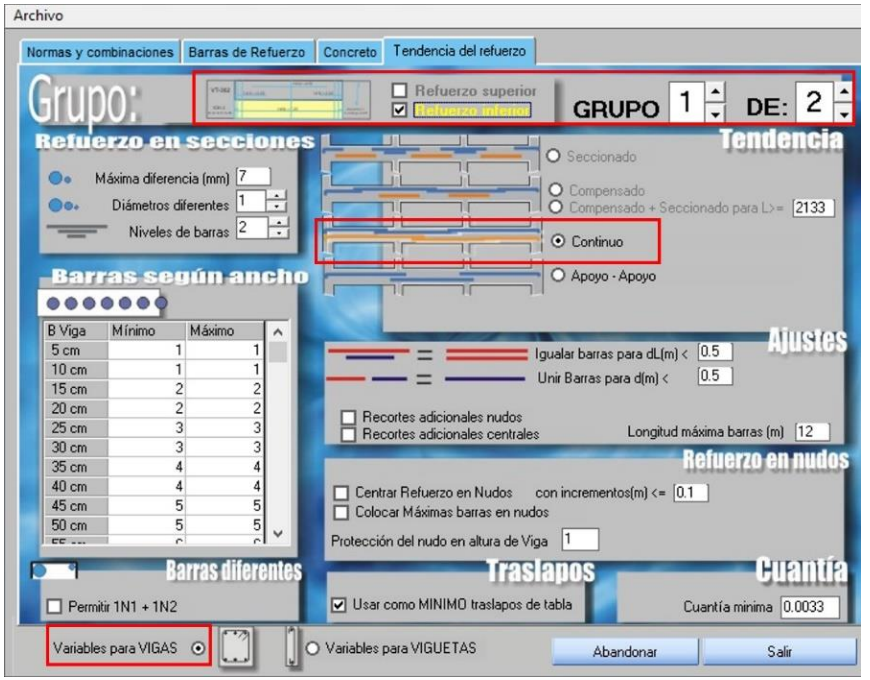


Figura 33. Tendencia del refuerzo inferior para vigas DMO– Grupo 1
Fuente propia

Con la configuración anterior el refuerzo inferior se visualizará como se muestra en la *Figura 40.* Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas DMO – Grupos Tipo 1

El Grupo 2 – Apoyo – Apoyo puede ser utilizado cuando el usuario considere que es más fácil de ajustar los traslapos manualmente. Este conserva las mismas variables del Grupo 1 como se observa a continuación:

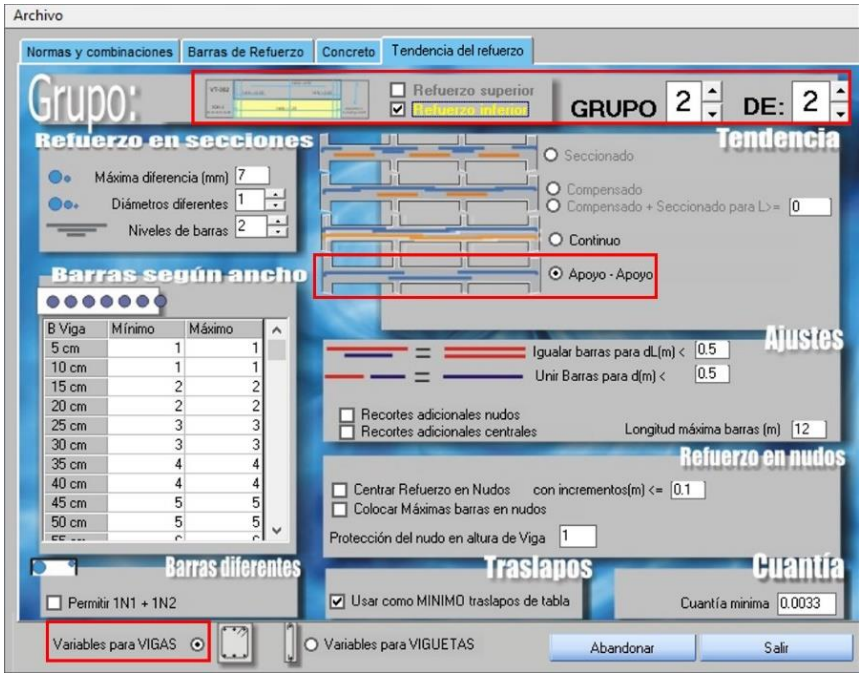


Figura 34. Tendencia del refuerzo inferior para vigas DMO– Grupo 2
Fuente propia

Con la configuración anterior el refuerzo inferior se visualizará como se muestra en la *Figura 41.* Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas DMO – Grupos Tipo 2.

5.3.1.9 Tendencia del refuerzo superior para viguetas aéreas: Al igual que en las vigas se manejan dos grupos, en este caso **“Seccionado”** y **“Compensado”**.

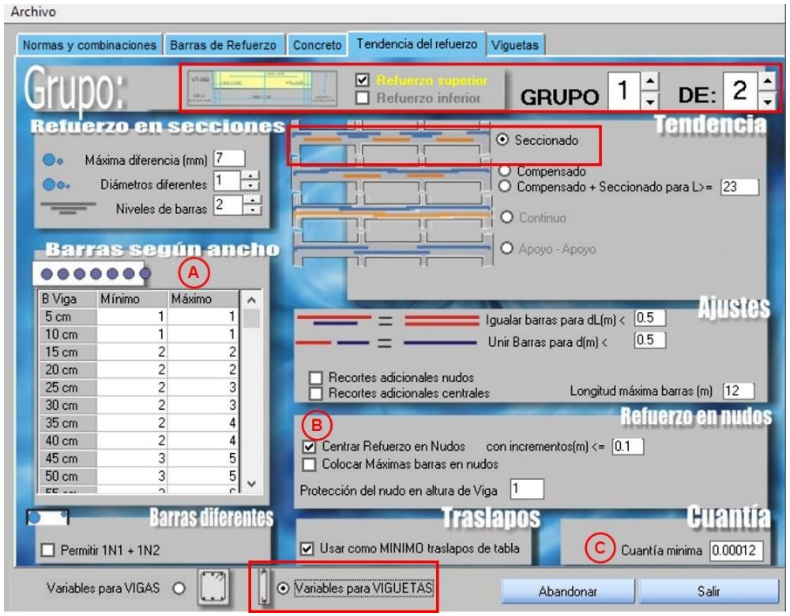


Figura 35. Tendencia refuerzo superior para viguetas aéreas – Grupo 1
Fuente propia

El Grupo 1 – Seccionado para refuerzo superior hace que se concentre el refuerzo en los nudos, y se coloque refuerzo constructivo en el centro de la luz.

A. El mínimo y máximo número de barras es el indicado en el archivo Procedimientos de verificación, en la pestaña Cantidad de Refuerzo.

B. El refuerzo se concentra en el nudo, pero no se colocan máximas barras en los nudos para procurar no exceder la cuantía máxima.

C. La cuantía mínima que se utiliza en el refuerzo superior de las viguetas es muy pequeña, esto con el fin de que el programa coloque el refuerzo constructivo en el centro de la luz.

Con la configuración anterior, el refuerzo superior se visualizará como se muestra en la *Figura 42*. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para viguetas aéreas – Grupos Tipo 1.

.

El Grupo 2 – Compensado, es exactamente el mismo de las vigas a excepción de la cuantía. Se puede utilizar en viguetas de luces cortas (<3m), ya que no valdría la pena seccionarlo. De todas maneras, el usuario deberá determinar en qué casos es conveniente usar uno u otro grupo.

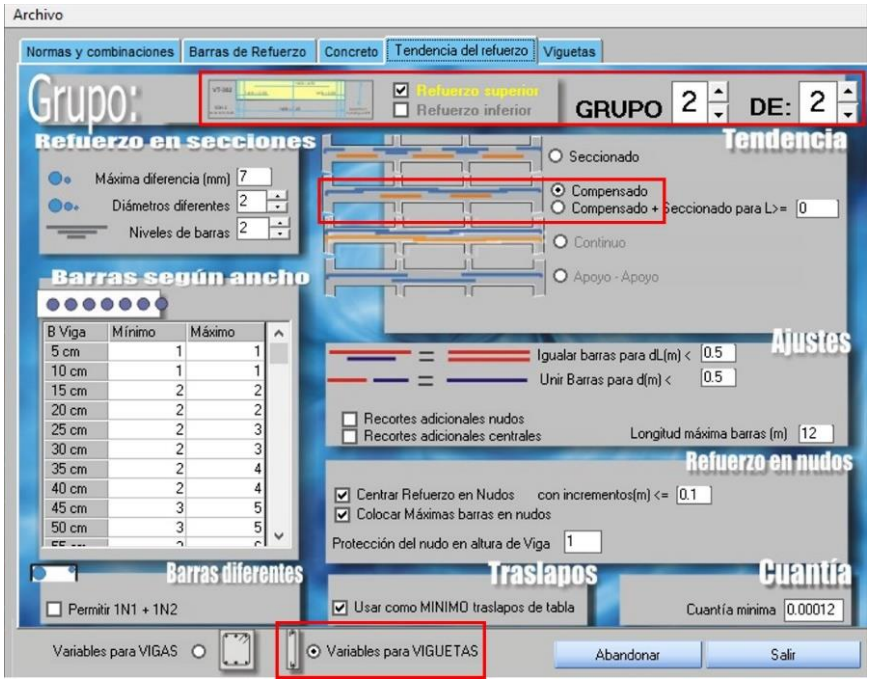


Figura 36. Tendencia refuerzo superior para viguetas aéreas – Grupo 2
Fuente propia

Con la configuración anterior el refuerzo superior se visualizará como se muestra en la *Figura 43.* Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para viguetas aéreas – Grupos Tipo 2.

5.3.1.10 Tendencia del refuerzo inferior en las viguetas aéreas:

Para el refuerzo inferior en viguetas se utilizan dos grupos **“Continuo”** y **“Compensado”**. El Continuo conserva las

mismas variables del Grupo 1 – Continuo para el refuerzo inferior de las vigas, pero la cuantía mínima es diferente, como se observa en la *Figura 37.* Tendencia refuerzo inferior para viguetas aéreas – Grupo 1.

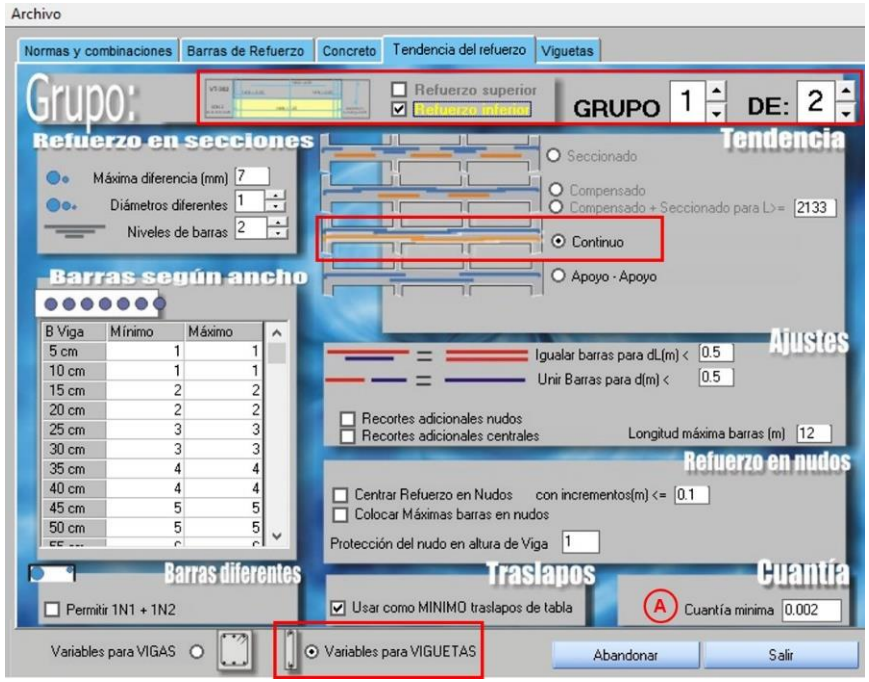


Figura 37. Tendencia refuerzo inferior para viguetas aéreas – Grupo 1
Fuente propia

A. La cuantía mínima para viguetas se asignó en P&P Proyectos como 0.0022 basada en la cuantía mínima por retracción y temperatura y aumentada por un factor de seguridad.

Con la configuración anterior el refuerzo inferior se visualizará como se muestra en la *Figura 42*. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para viguetas aéreas – Grupos Tipo 1.

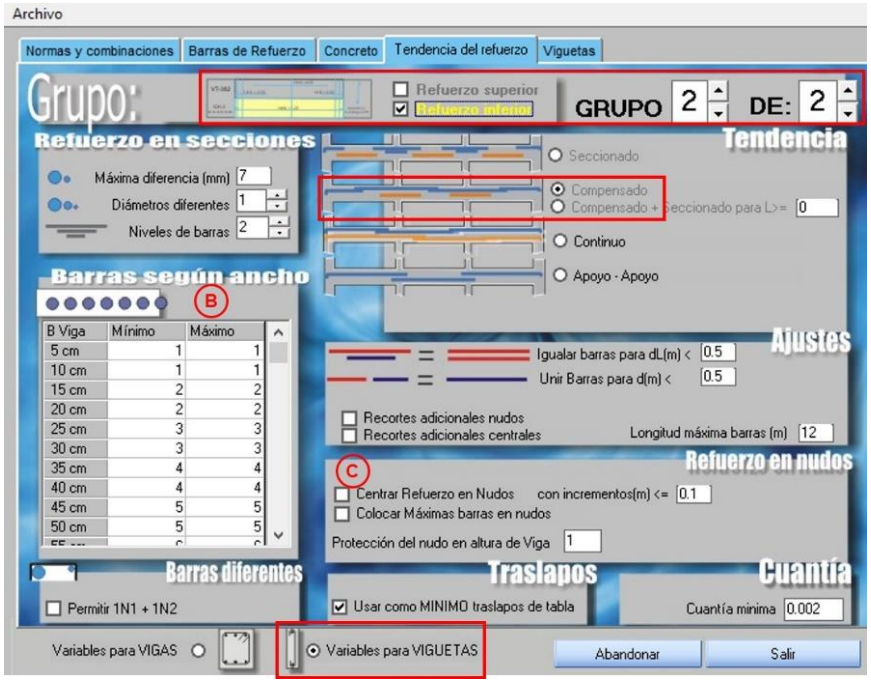


Figura 38. Tendencia refuerzo inferior para viguetas aéreas – Grupo 2
Fuente propia

El Grupo 2 – Compensado se utiliza en el caso de tener un voladizo que requiera refuerzo adicional en el nudo, el cual deberá colocarse manualmente. Las variables que cambian con respecto al Compensado de las vigas son las que se

muestran en la *Figura 38.* Tendencia refuerzo inferior para viguetas aéreas – Grupo 2.

B. Los valores mínimos y máximos son iguales, ya que el refuerzo inferior debe ser continuo.

C. No se activa la opción de centrar el refuerzo ni de colocar máximas barras en nudos, esto se hace manualmente donde lo requiera el voladizo.

Con la configuración anterior el refuerzo superior se visualizará como se muestra en la *Figura 43.* Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para viguetas aéreas – Grupos Tipo 2.

5.3.1.11 Viguetas aéreas:

En esta pestaña se podrán asignar algunas variables adicionales para el diseño de viguetas.

A. Se activa la opción de colocar flejes constructivos separados d/2 (0.5) en la zona de confinamiento, y d (1.0) en el centro de la luz.

B. Para viguetas de ancho menor a 12cm sólo se utiliza una barra longitudinal, como se indica en el archivo Procedimientos de verificación pestaña Cantidad Refuerzo. Es de aclarar que en lugares con ambientes corrosivos, las viguetas de ancho menor o igual a 15cm tendrán una sola barra longitudinal, ya que los recubrimientos para la protección del refuerzo en dichos lugares son mayores.

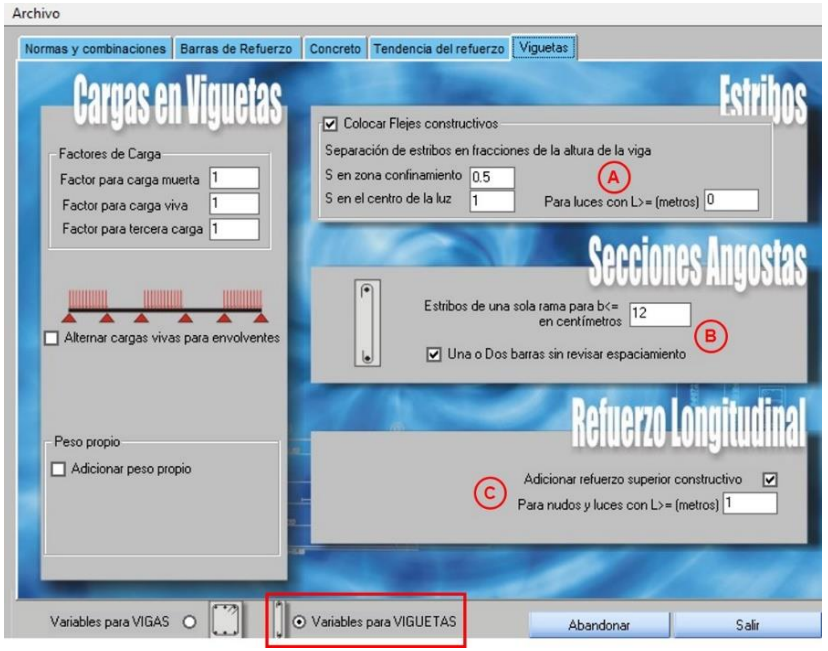


Figura 39. Variables adicionales para viguetas aéreas
Fuente propia

C. Esta opción debe estar activa para que el programa asigne barras constructivas #2 en el refuerzo superior.

Con base en las configuraciones presentadas en esta sección para vigas DMO y viguetas, y teniendo en cuenta los procedimientos de verificación para flexión y cortante, a continuación se muestran algunos ejemplos según los grupos de tendencia del refuerzo longitudinal.

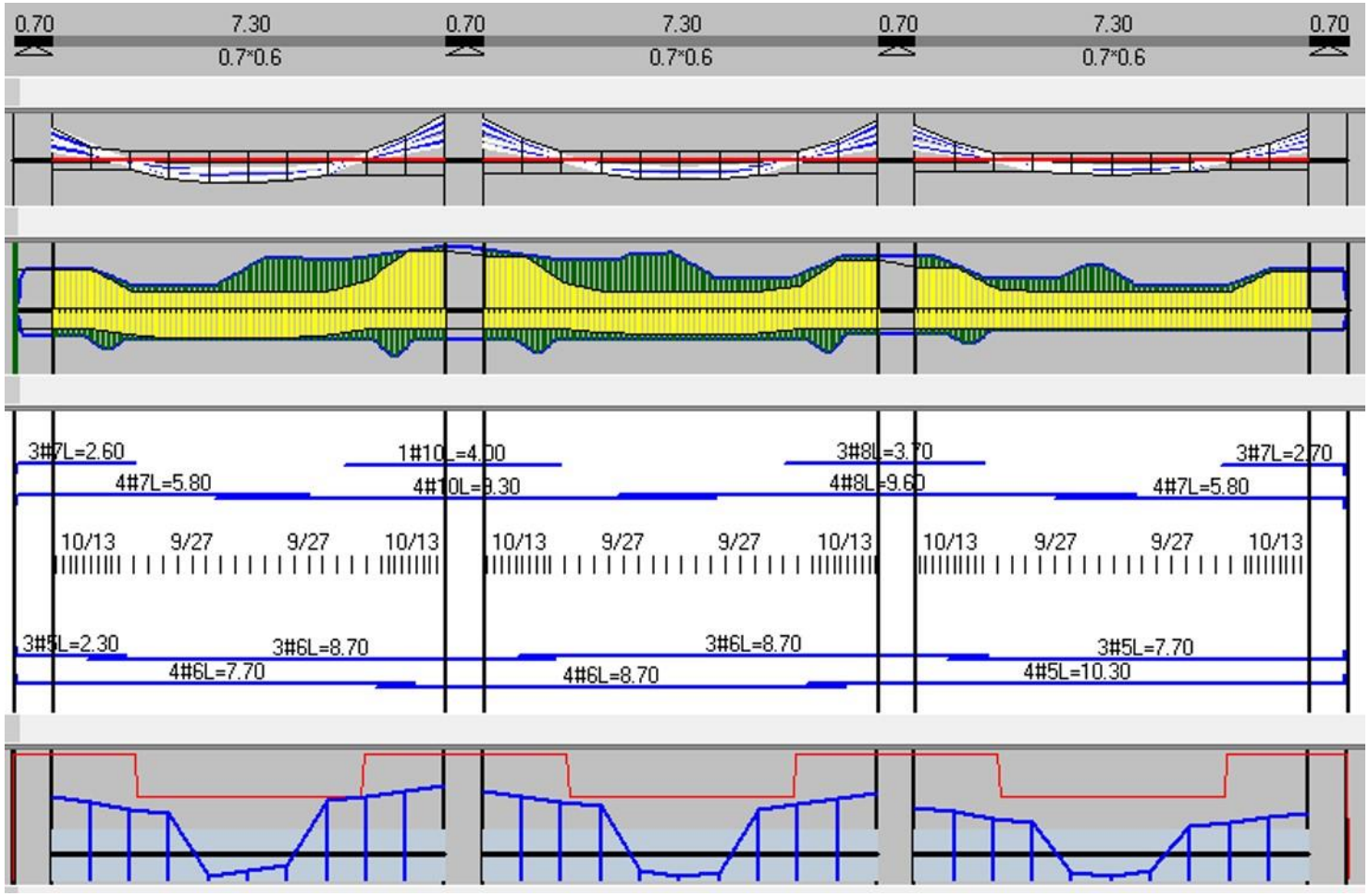


Figura 40. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas DMO – Grupos Tipo 1
Fuente propia

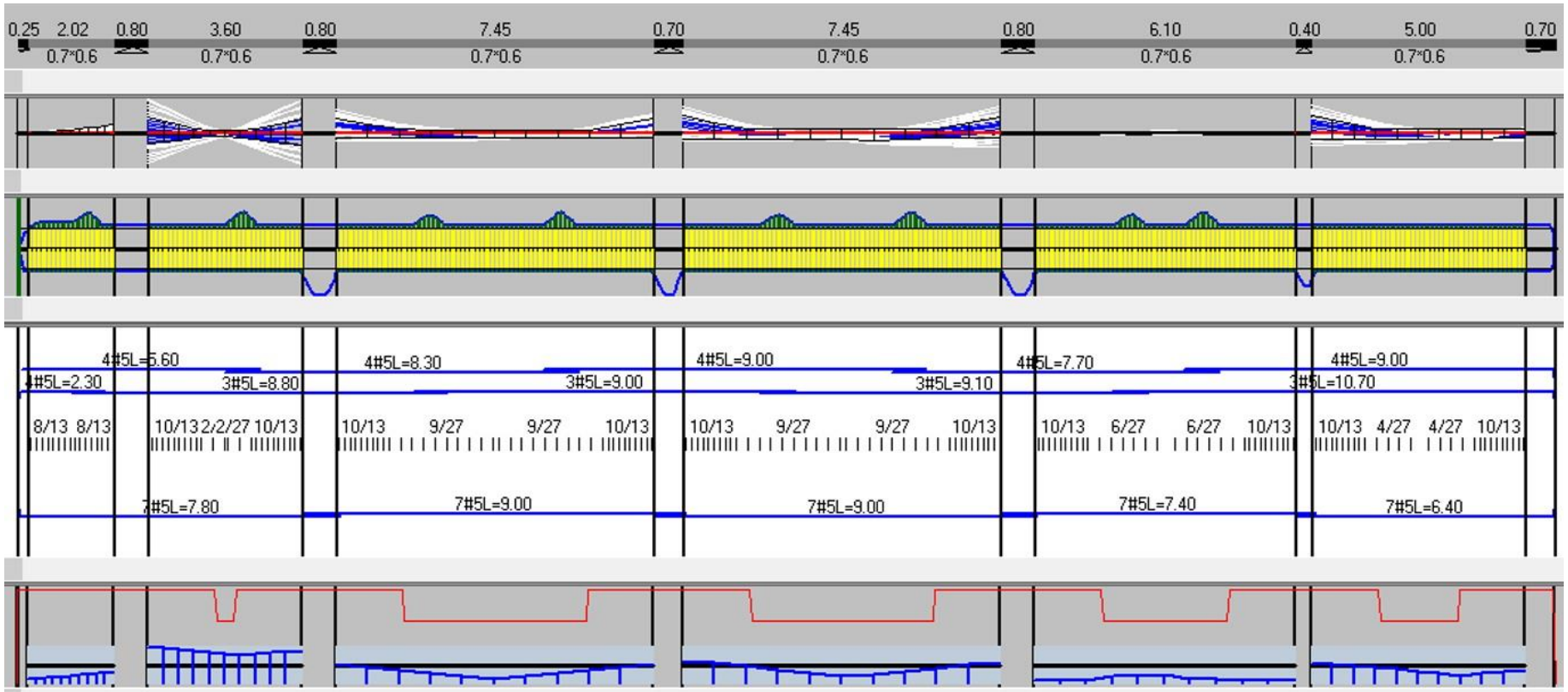


Figura 41. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas DMO – Grupos Tipo 2
Fuente propia

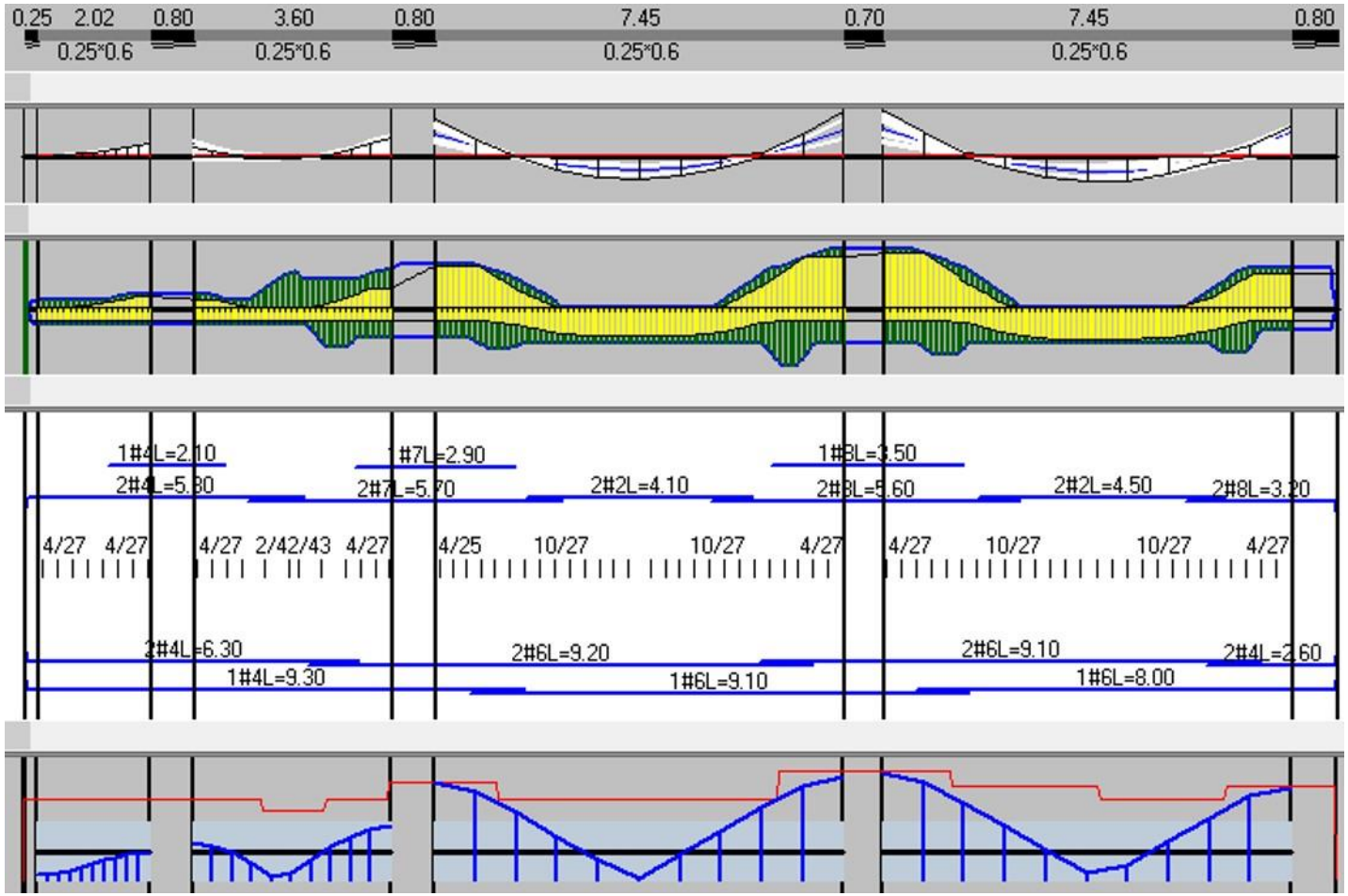


Figura 42. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para viguetas aéreas – Grupos Tipo 1
Fuente propia

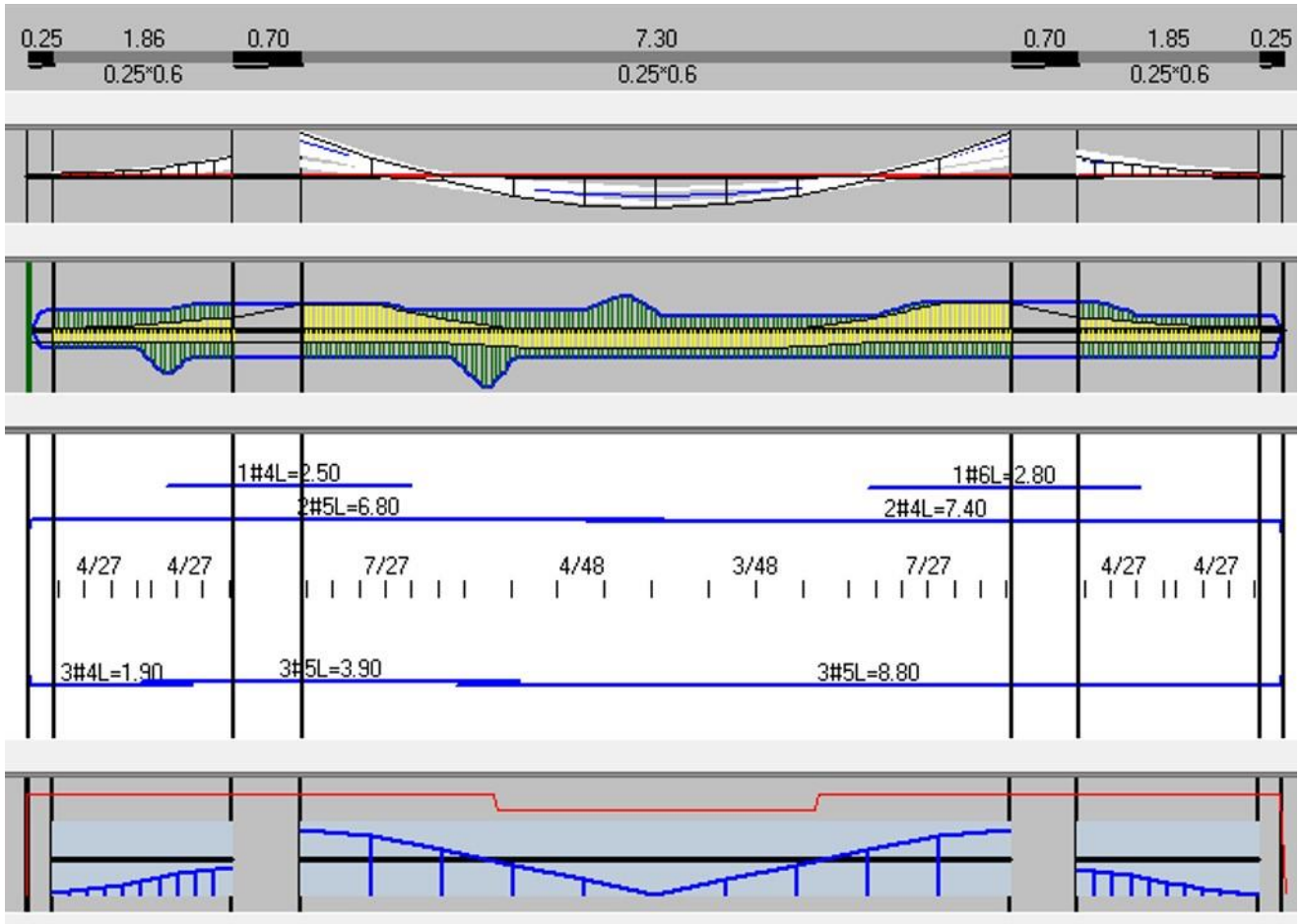


Figura 43. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para viguetas aéreas – Grupos Tipo 2
Fuente propia

5.3.2 VG-CM-DMO: Variables fijas para vigas de cimentación (DMO) y viguetas.

Estas variables son muy similares a las explicadas anteriormente. Las configuraciones que cambian con respecto a las variables del archivo VG-AR-DMO son las siguientes:

A. Los grupos de tendencia para el refuerzo superior ahora serán para el refuerzo inferior, y viceversa; ya que el diagrama de momentos en vigas de cimentación se invierte.

B. Los recubrimientos para vigas y viguetas de cimentación son de 5cm laterales, si se encentran contra el terreno.

C. Si hacen parte de una placa de cimentación, los recubrimientos laterales son de 4cm.

D. El recubrimiento superior es de 4cm y el inferior de 7cm. Ver recubrimientos vigas y viguetas de cimentación en el plano No.1.3 Detalles Despieces, que se encuentra en la siguiente ruta Z:_Bloques-P&P_PROTOTIPOS.

E. Los estribos tanto para vigas como para viguetas de cimentación son mínimo #3.

F. El d'' en este caso es de 7cm para vigas y viguetas.

Teniendo en cuenta la configuración descrita anteriormente, a continuación se muestran los ejemplos de cada grupo de tendencia para vigas y viguetas de cimentación.

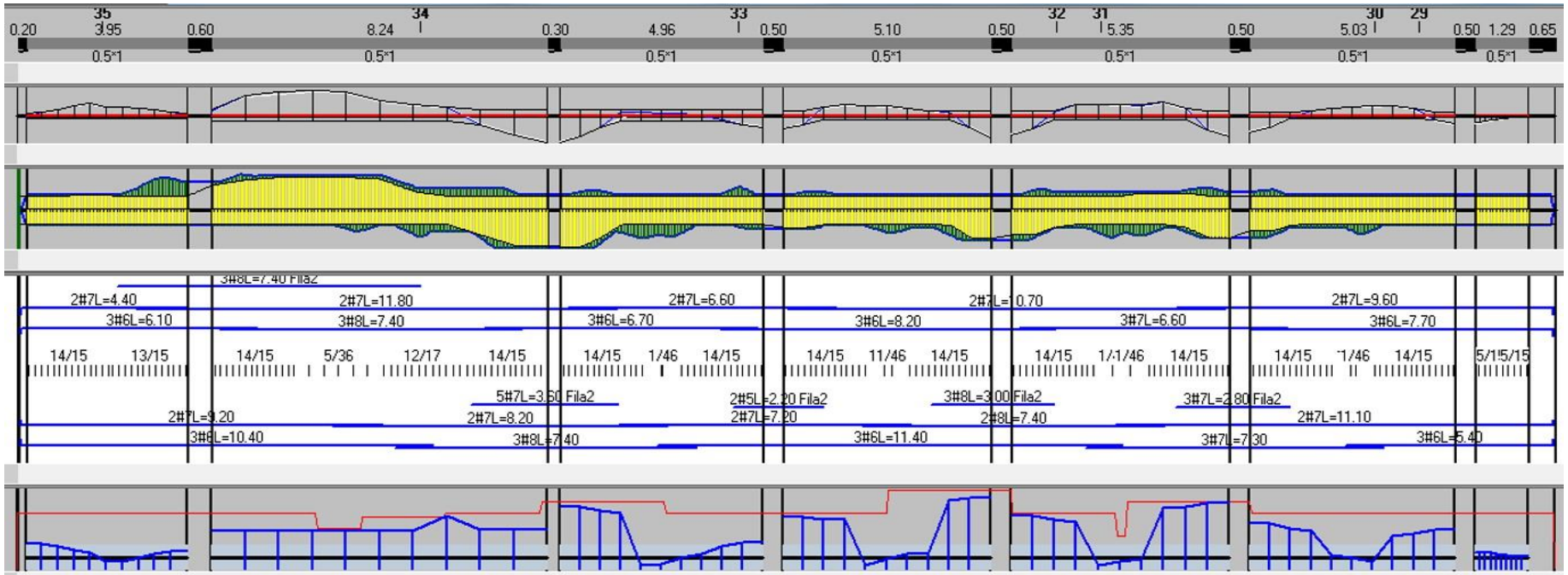


Figura 44. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas de cimentación DMO – Grupos Tipo 1
Fuente propia

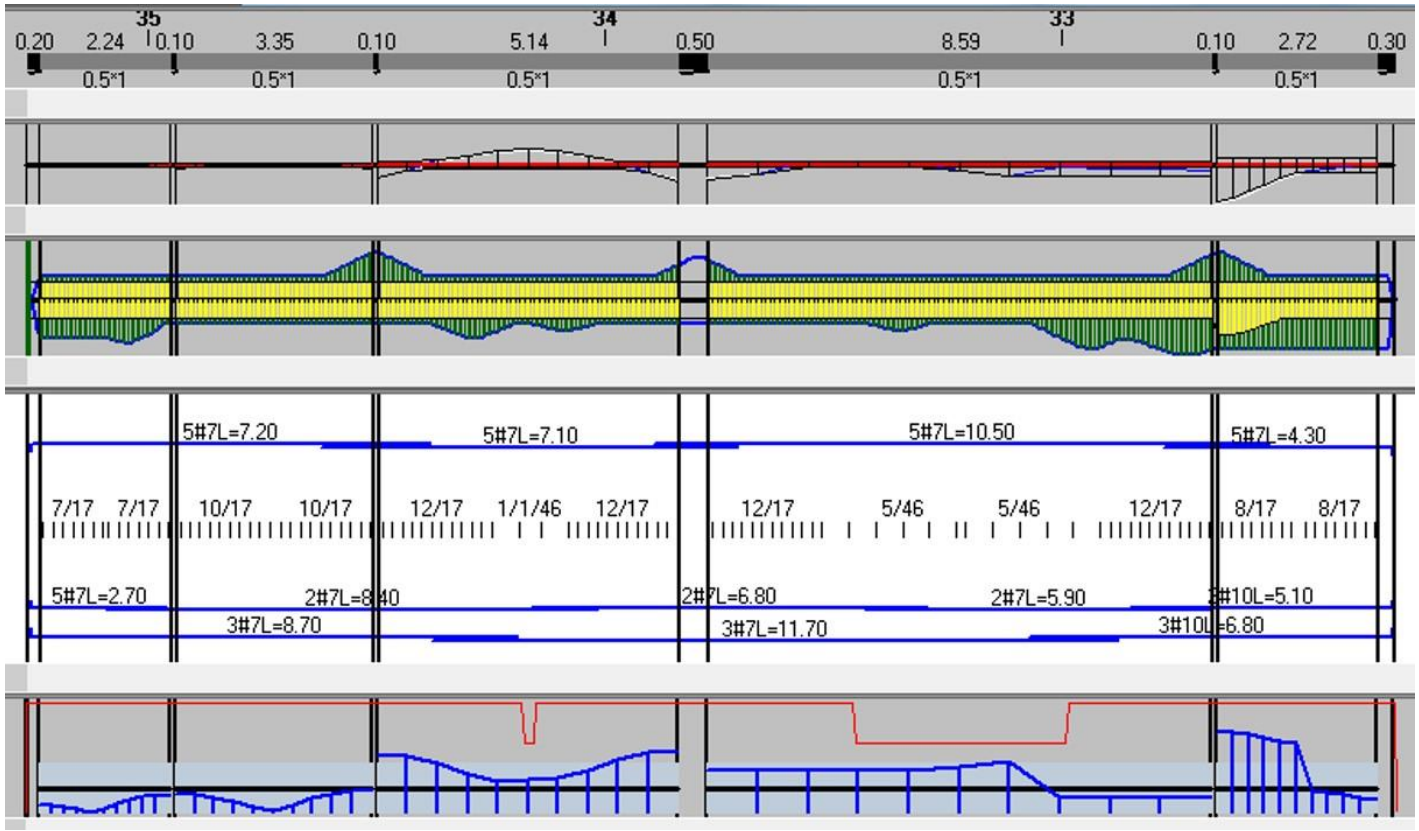


Figura 45. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas de cimentación DMO – Grupos Tipo 2
Fuente propia

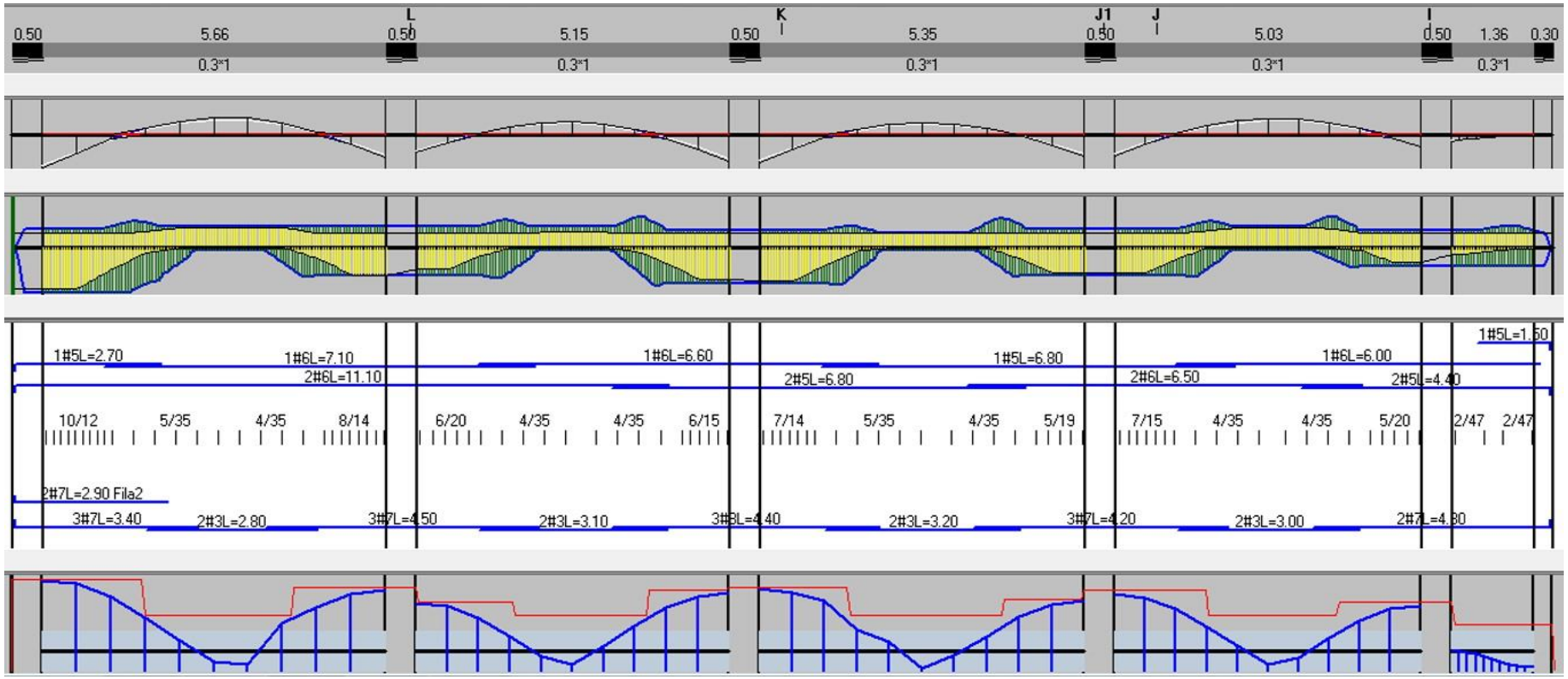


Figura 46. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para viguetas de cimentación – Grupos Tipo 1
Fuente propia

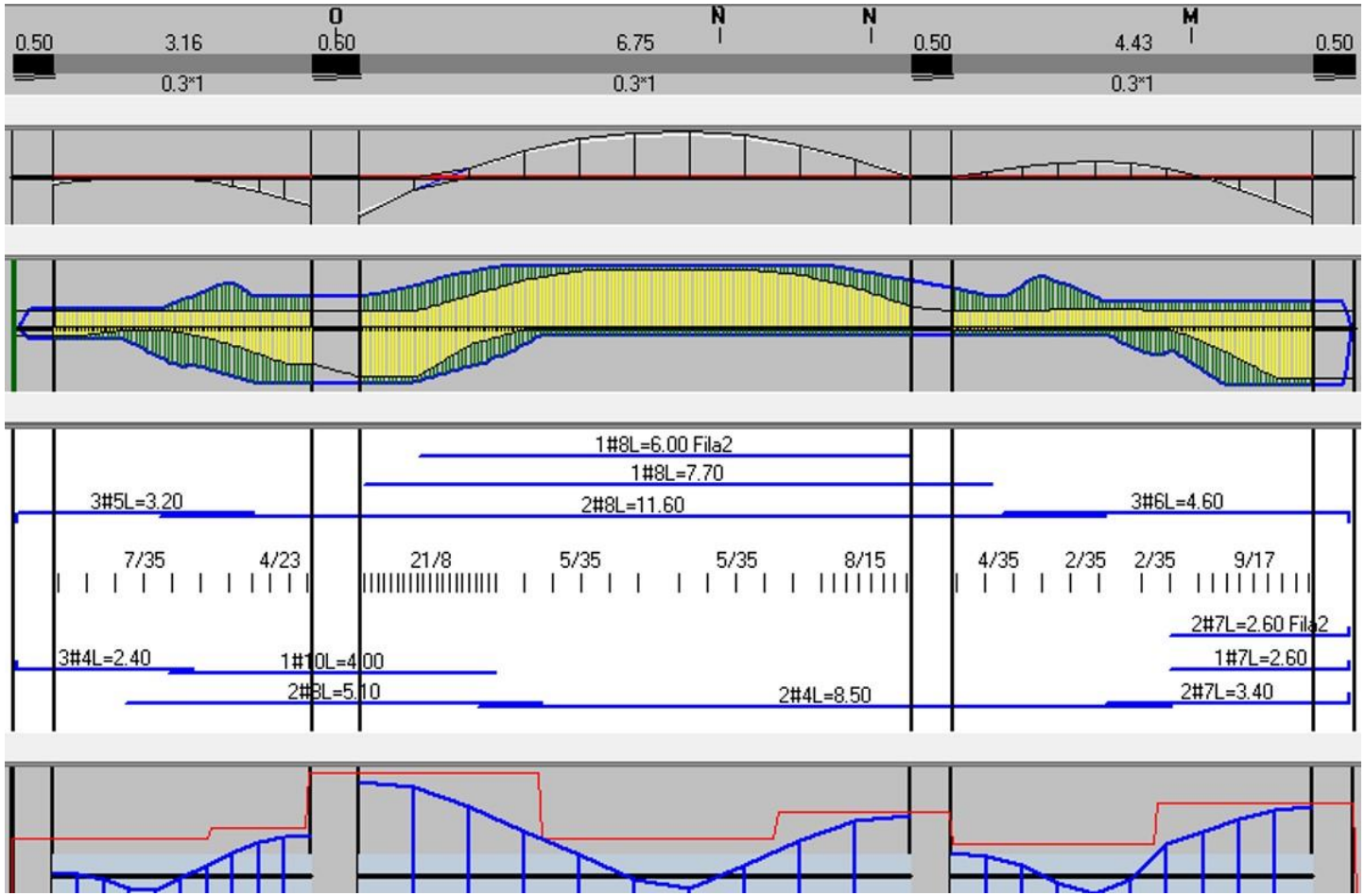


Figura 47. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para viguetas de cimentación – Grupos Tipo 2
Fuente propia

5.3.3 VG-AR-DES: Variables fijas para vigas aéreas (DES) y viguetas.

Las variables para viguetas en estructuras con disipación de energía especial (DES) son las mismas utilizadas en el archivo **"VG-AR-DMO"**. Por otro lado, muchas de las variables del archivo antes mencionado se conservan, por ello se dará paso a la explicación de las variables que cambian para las vigas con disipación de energía especial (DES).

5.3.3.1. Normas y combinaciones para vigas DES:

Las variables que cambian en este caso se muestran en la *Figura 48.* Normas y combinaciones para vigas DES.

A. La norma que se debe elegir es Colombia/NSR-10/DES-Especial.

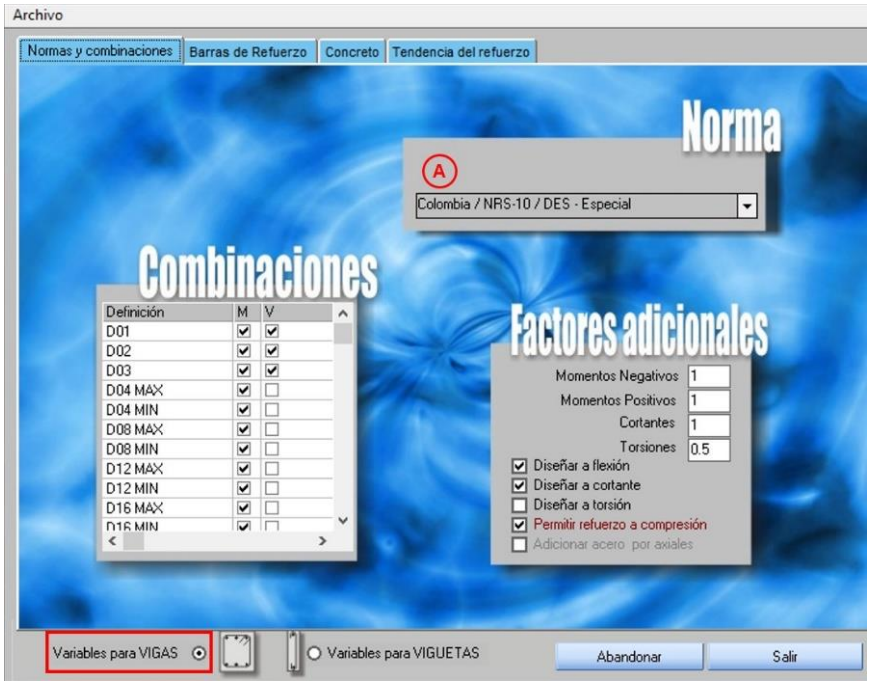


Figura 48. Normas y combinaciones para vigas DES
Fuente propia

5.3.3.2. Barras de refuerzo para vigas DES:

Figura 49. Barras de refuerzo para vigas DES
Fuente propia

A. Dado que en vigas con disipación de energía especial los traslapos deben confinarse con una separación de d/4 o 10cm, el que sea menor (C.21.5.2.3), en PyP Proyectos se traslapa todo el refuerzo justo después de la zona de confinamiento. Por lo tanto se debe indicar cuál es la separación mínima que se desea según los Procedimientos de verificación, y activar la opción **"Usar separación mínima en zonas de confinamiento"**.

5.3.3.3. Tendencia del refuerzo superior par vigas DES:
Se utilizan dos grupos **"Compensado** y **Apoyo-Apoyo"**.

Las variables del grupo 1- Compensado se muestran en la *Figura 50*. Tendencia del refuerzo superior para vigas DES – Grupo 1.

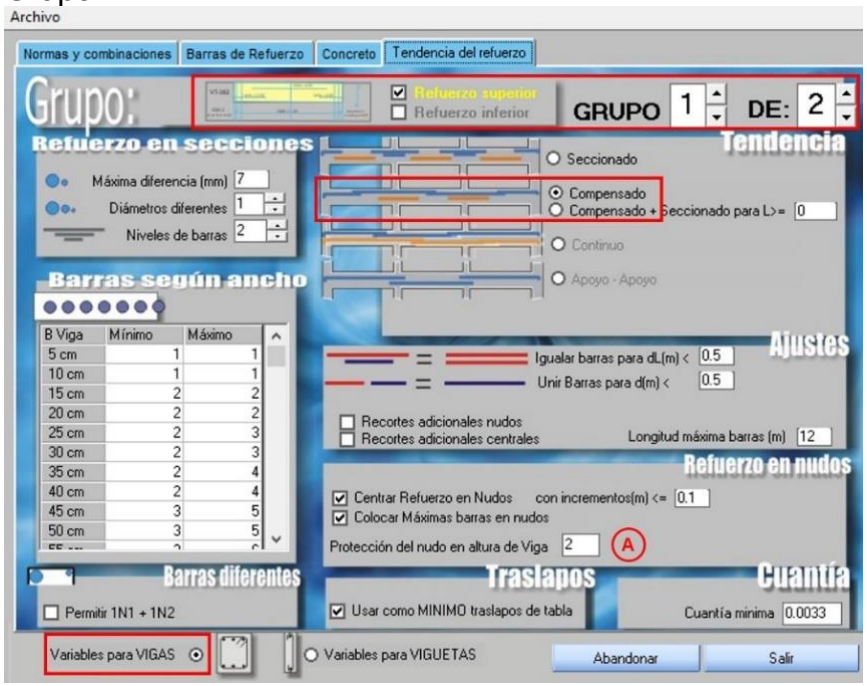


Figura 50. Tendencia del refuerzo superior para vigas DES – Grupo 1
Fuente propia

A. Se trata del mismo Grupo 1 – Compensado de las vigas DMO, pero en este caso se debe proteger el nudo en 2h debido a los requerimientos de C.21.5.2.3.

El Grupo 2 – Apoyo-Apoyo es utilizado cuando sólo se requiere cuantía mínima para el refuerzo superior, y porque es más fácil hacer coincidir manualmente estos traslapos con los del refuerzo inferior, cuando están en el apoyo que cuando están en el centro de la luz. Los traslapos deben ajustarse manualmente justo después de 2h tanto arriba como abajo.

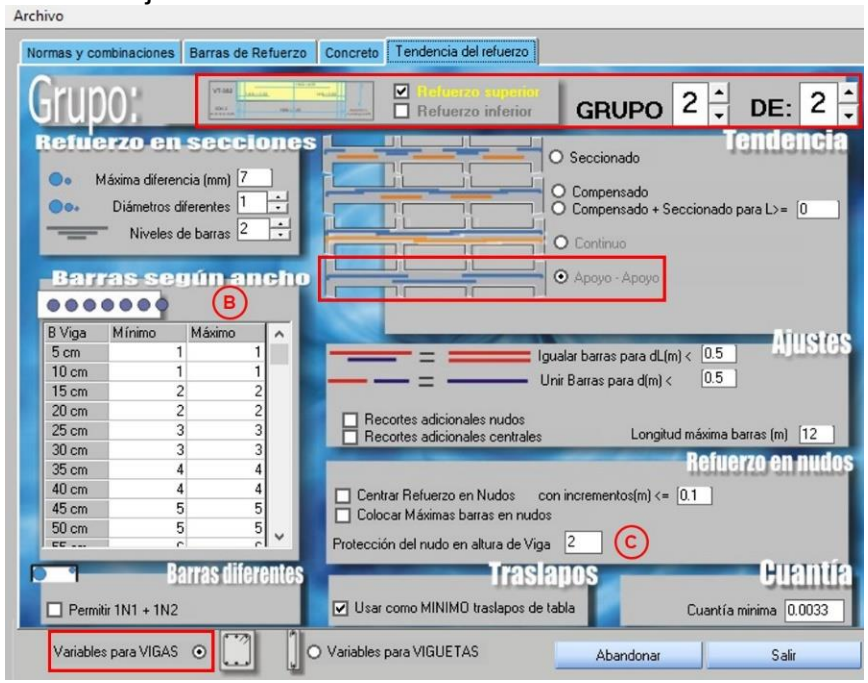


Figura 51. Tendencia del refuerzo superior para vigas DES – Grupo 2
Fuente propia

B. La cantidad de barras mínima y máxima son iguales, ya que se trata de cumplir tan sólo con la cuantía mínima.

C. También se protege el nudo en 2h por los requerimientos de C.21.5.2.3.

5.3.3.4. Tendencia del refuerzo inferior para vigas DES:
Se utilizan dos grupos **“Compensado** y **Apoyo-Apoyo”**.

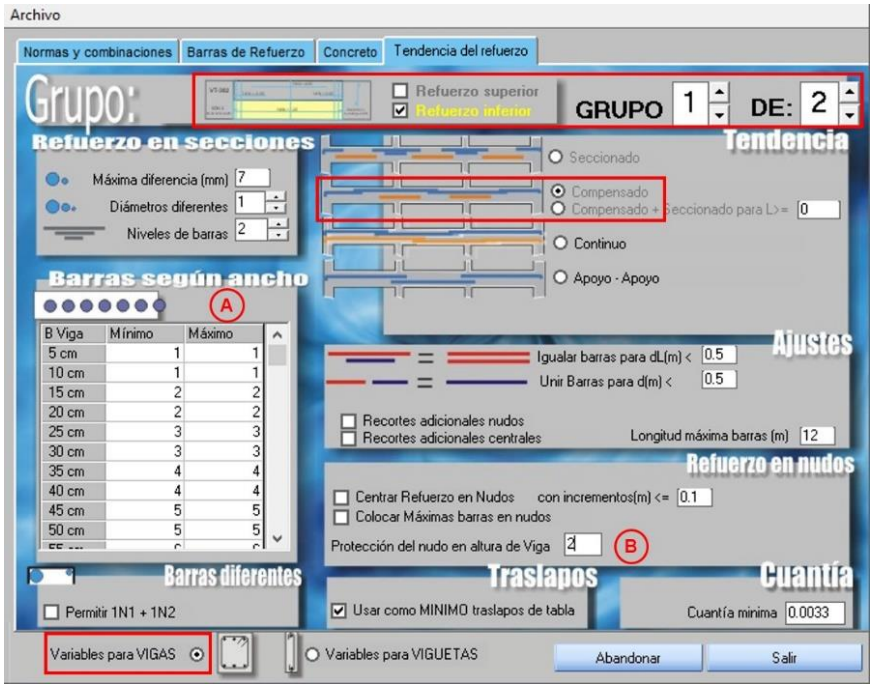


Figura 52. Tendencia del refuerzo inferior para vigas DES – Grupo 1
Fuente propia

En el Grupo 1 – Compensado la idea no es realmente que se compense el refuerzo inferior, sino que el programa entienda que se desea tener un refuerzo continuo traslapado, todo en el mismo punto, justo después de 2h, y no que se traslapen la mitad de las barras en un vano y la otra mitad en el vano siguiente, como en el refuerzo continuo. Por lo tanto, las variables a tener en cuenta según la *Figura 52.* Tendencia del refuerzo inferior para vigas DES – Grupo 1, son las siguientes:

A. En realidad el refuerzo debe ser continuo, por ello los mininos y máximos deben ser iguales para que el programa no los compense.
B. Se protege el nudo en 2h para que el traslapo se haga justo después de la zona de confinamiento.

El Grupo 2 – Apoyo-Apoyo se utiliza en algunos despieces donde el programa no configura muy bien los traslapos en los puntos donde se desea tenerlos. De esta manera es más sencillo ajustarlos manualmente cuando están en el apoyo.

C. Ya que se trata del refuerzo inferior debe colocarse la cantidad máxima de barras, por ello el mínimo y el máximo de barras es igual, como se muestra en la *Figura 53.* Tendencia del refuerzo inferior para vigas DES – Grupo 2.

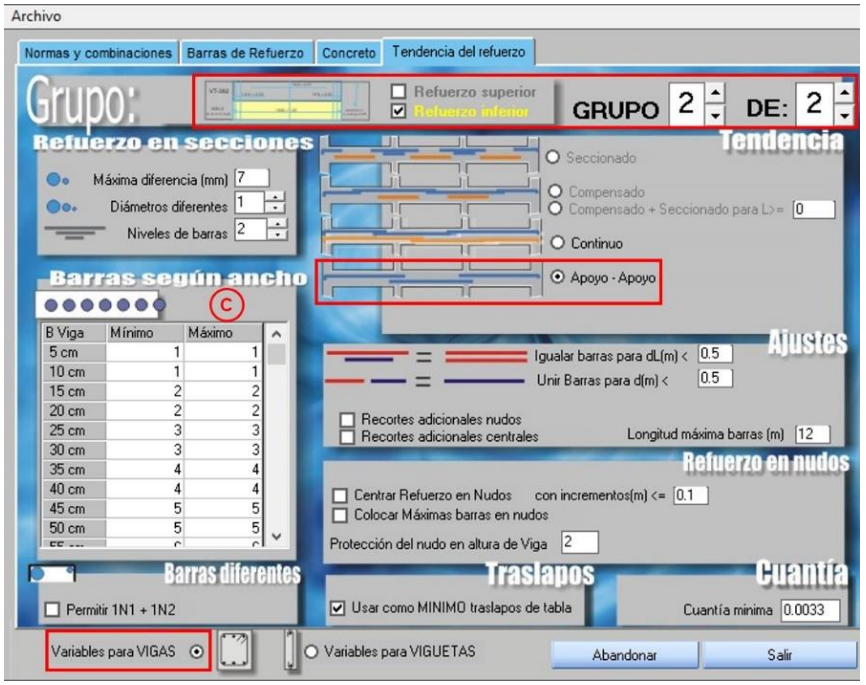


Figura 53. Tendencia del refuerzo inferior para vigas DES – Grupo 2
Fuente propia

Con base en las configuraciones presentadas en esta sección para vigas DES, y teniendo en cuenta los procedimientos de verificación para flexión y cortante, a continuación se muestran algunos ejemplos según los grupos de tendencia del refuerzo longitudinal.

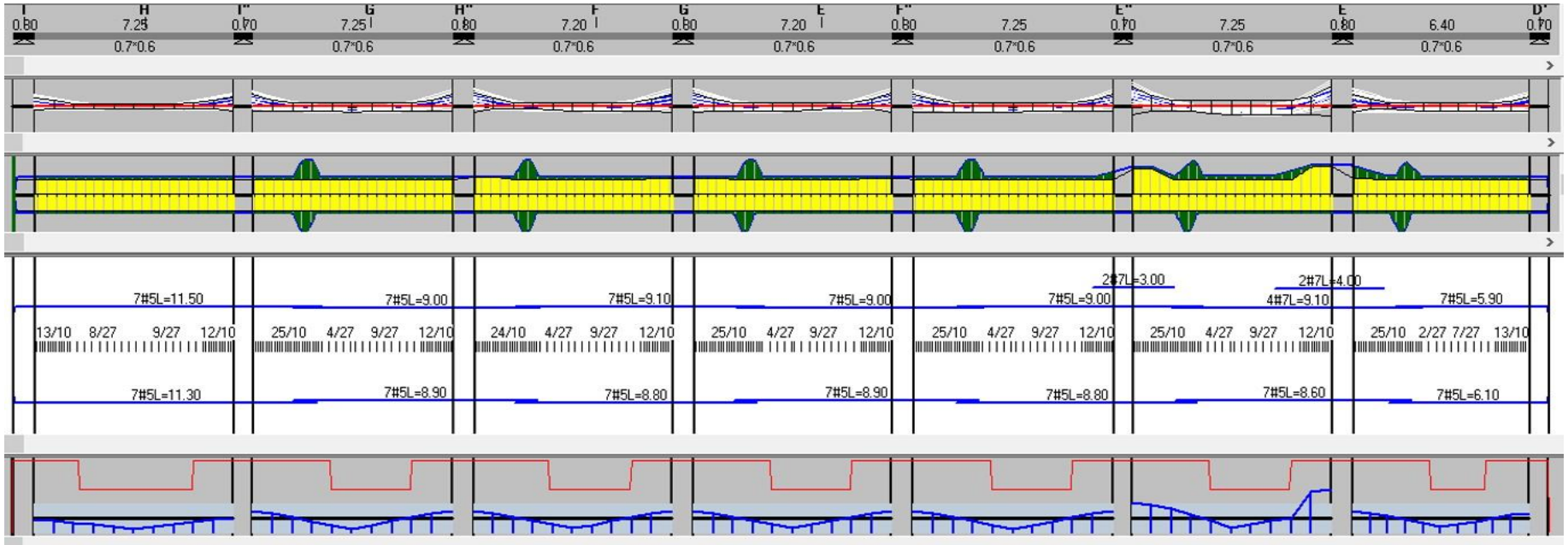


Figura 54. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas DMO – Grupos Tipo 1
Fuente propia

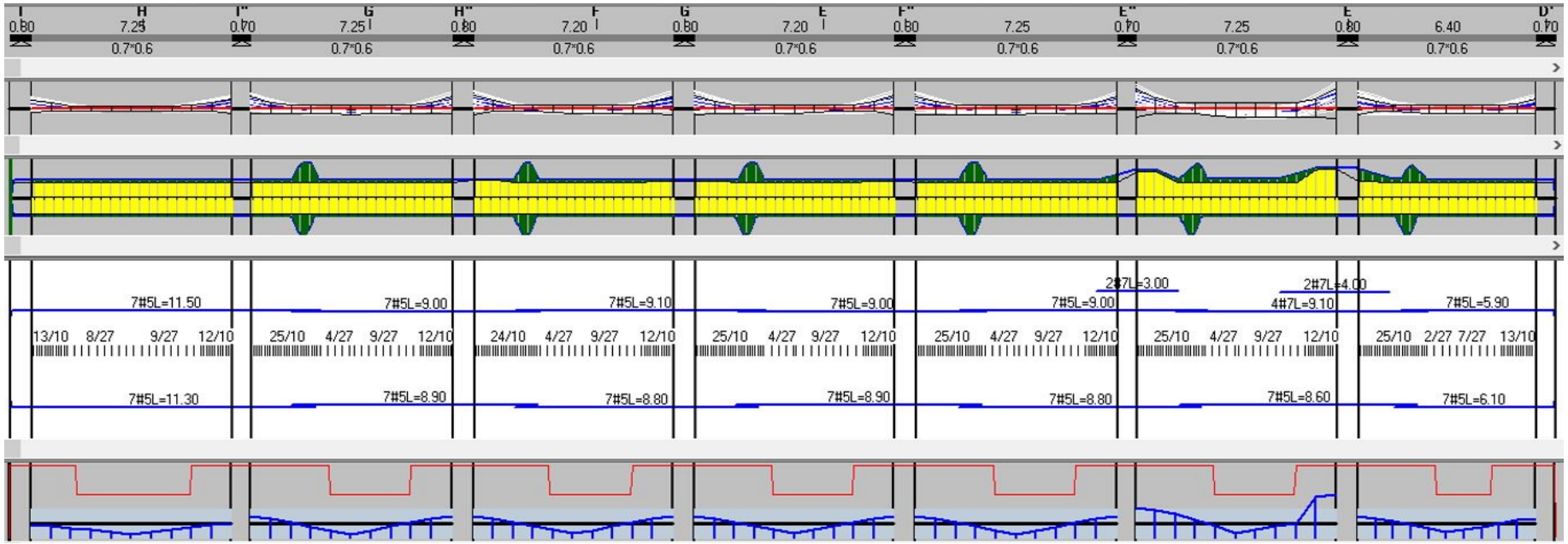


Figura 55. Ejemplo Tendencia del refuerzo superior e inferior para vigas DMO – Grupos Tipo 2
Fuente propia

5.3.4 VG-CM-DES: Variables fijas para vigas de cimentación (DES) y viguetas.

Estas variables son iguales a las anteriores excepto en los grupos de tendencia, ya que el diagrama de momentos en vigas de cimentación se invierte, de esta manera los grupos de tendencia para el refuerzo superior ahora serán para el refuerzo inferior, y viceversa. Adicionalmente, se deben tener en cuenta los recubrimientos, el diámetro de los estribos y el valor de d'', mencionados en la sección 5.3.4. VG-CM-DMO: Variables fijas para vigas de cimentación (DMO) y viguetas.

5.3.5 VG-AR-DMI: Variables fijas para vigas aéreas (DMI) y viguetas.

Cabe resaltar que las vigas con disipación de energía mínima (DMI) no tienen requerimientos especiales según C.21, por lo tanto estas variables son muy similares a las del archivo **"VG-AR-DMO"** sólo que el refuerzo a cortante tiene el mismo tratamiento de una vigueta, es decir sin zona de confinamiento. También se debe tener en cuenta, que cuando el cortante supera $0.5\varphi Vc$ es necesario colocar flejes mínimo cada d/2, como se indicó en el capítulo 1. Procedimientos de verificación.

En normas y combinaciones se puede elegir Colombia/NSR-10/DMI-Mínima.

Las variables de las viguetas por su parte siguen siendo iguales a las del archivo **"VG-AR-DMO"**.

5.3.6 VG-CM-DMI: Variables fijas para vigas de cimentación (DMI) y viguetas.

Al igual que las vigas aéreas DMI estas variables conservan las configuraciones del archivo VG-CM-DMO, en normas y combinaciones se elige la norma Colombia/NSR-10/DMI-Mínima, y no hay zona de confinamiento.

5.4 Variables de Impresión

Con el fin de exportar las vigas al programa AutoCAD, PyP Proyectos ha generado unas variables de impresión que dependen del tamaño de los planos estructurales.

A. Planos en doble carta: 2-PYP-variables-impresion-vigas-viguetas-DOBLE-CARTA-V2.
B. Planos en pliego: 4-PYP-variables-impresion-vigas-viguetas-PLIEGO-V2.

De esta manera, para importar dichas variables de impresión según sea el caso, siga las siguientes instrucciones:

A. Diríjase al botón imprimir señalado por el rectángulo rojo en la *Figura 56*. Botón imprimir en DC-CAD.

Figura 56. Botón imprimir en DC-CAD
Fuente propia

B. Se activará el entorno de la *Figura 57*. Entorno variables de impresión. Diríjase en la parte superior izquierda y haga clic en **"Variables de impresión"**.

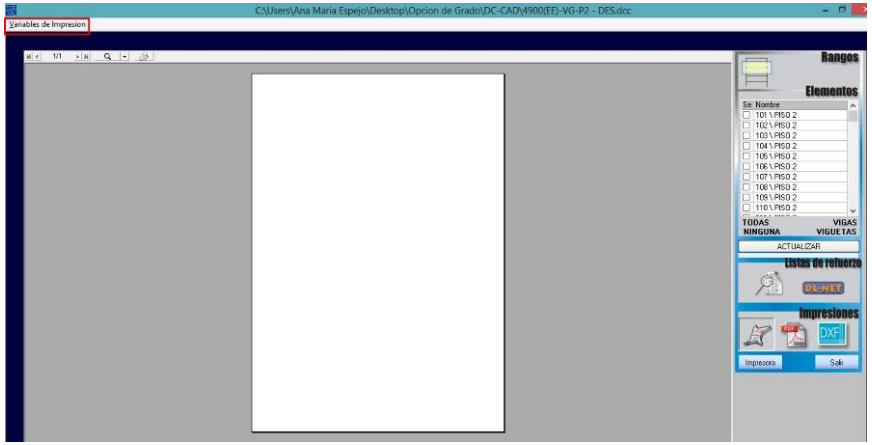


Figura 57. Entorno variables de impresión
Fuente propia

C. Para importar las variables de impresión al programa DC-CAD, en el nuevo cuadro de dialogo de la *Figura 58*. Importar variables de impresión, haga clic en Archivo-Abrir variables de impresión, y diríjase a la siguiente ruta: Z:\Formatos-tecnicos\variables DC-CAD, donde encontrará las variables para doble carta y pliego, como se indicó anteriormente.

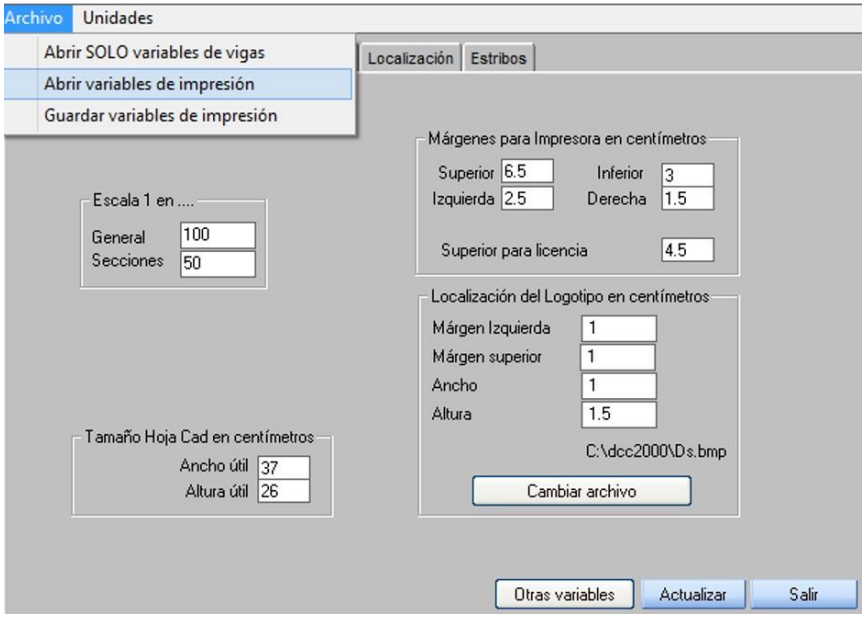


Figura 58. Importar variables de impresión
Fuente propia

D. Una vez importadas las variables de impresión, la única modificación que debe hacerse es la escala general, que debe coincidir con la escala de las plantas estructurales.

E. Para generar el archivo DXF (extensión compatible con AutoCAD), seleccione las vigas que desea exportar,

como se indica en la *Figura 59*. Generar archivo DXF, haga clic en actualizar y luego en el botón DXF. Guarde el archivo con la misma nomenclatura recomendada en el presente manual para guardar archivos de DC-CAD.

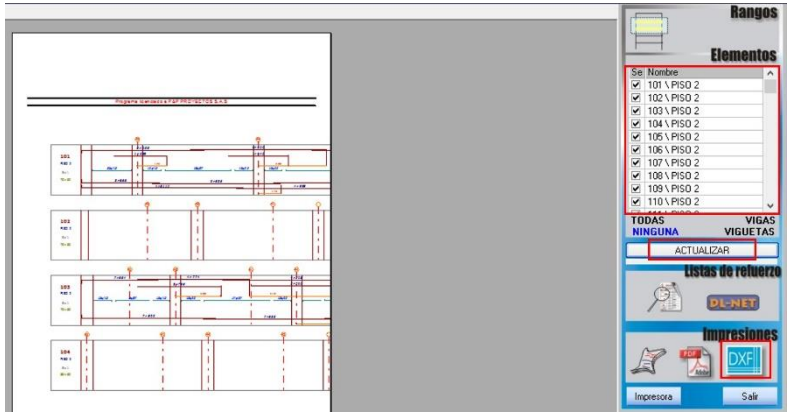


Figura 59. Generar archivo DXF
Fuente propia

6. REQUERIMIENTOS ADICIONALES

Por lo general, las vigas aéreas o de cimentación pueden ser despiezadas con los paramentos hasta ahora expuestos en el presente manual. Sin embargo, existen casos especiales donde se deben tener en cuenta requisitos adicionales, derivados de la experiencia de la empresa, como complemento a los requisitos de la NSR-10. Dichos casos especiales se desarrollarán a continuación.

6.1 Barras de Refuerzo #10

Como se mencionó en el capítulo 5. Reconocimiento del programa DC-CAD, para el refuerzo longitudinal se pueden utilizar hasta barras de refuerzo #10. Sin embargo, se debe evitar el uso de esta denominación en los extremos de las vigas, donde se requieren ganchos estándar, ya que doblar este tipo de barras en obra es muy dispendioso. En este caso, será mejor utilizar barras en paquete o en segunda fila, como se explicará más adelante.

6.2 Voladizos

Con el fin de confirmar la correcta asignación del refuerzo en voladizos por parte del programa DC-CAD, es pertinente realizar el chequeo manualmente, del momento negativo requerido en vigas con voladizos, por medio de la formula $WL^2/2$ para carga distribuida, y PL para carga puntual.

6.3 Vigas con Cambios de Sección

Tanto en planta como en altura se pueden presentar cambios de sección en las vigas, derivados del planteamiento arquitectónico del proyecto, con cambios de nivel y bordes de placa irregulares. En estos casos, el refuerzo longitudinal debe terminar en gancho, donde exista un cambio de sección y el refuerzo no pueda continuar, y dejar embebidos empalmes por traslapo en zonas con cambio de sección, donde el refuerzo si pueda continuar.

Para mayor compresión de este tema, diríjase a los ejemplos de la *Figura 60.* Viga cambio de sección en altura en DC-CAD, la *Figura 61.* Viga cambio de sección en altura en AutoCAD, la *Figura 62.* Viga cambio de sección en planta en DC-CAD, y la *Figura 63.* Viga cambio de sección en planta en AutoCAD.

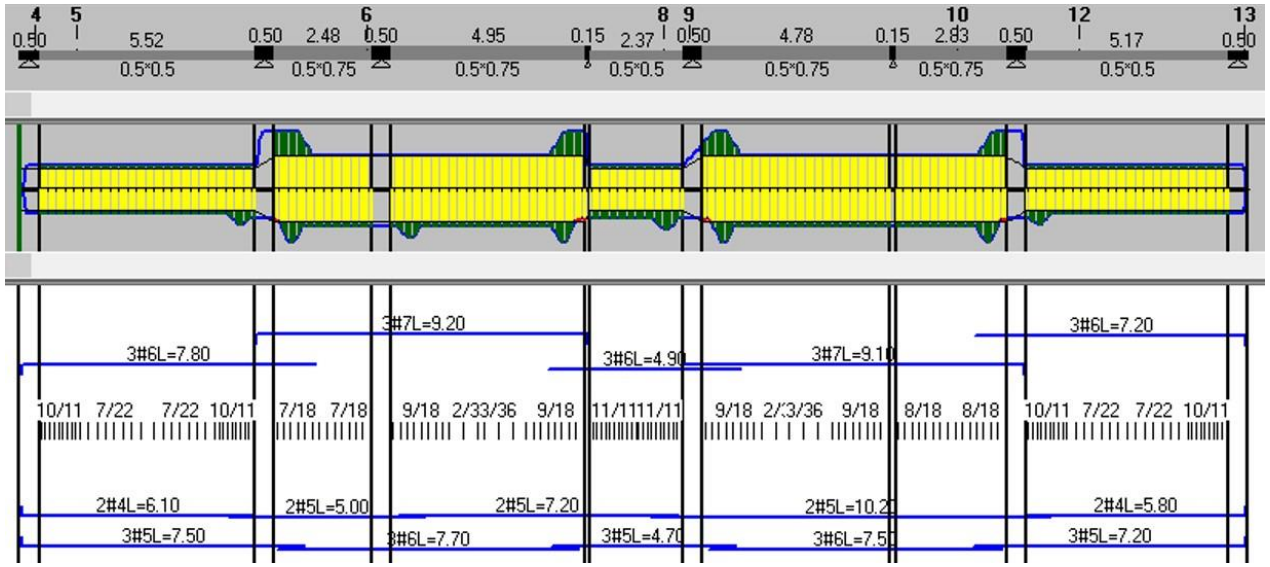


Figura 60. Viga cambio de sección en altura en DC-CAD
Fuente propia

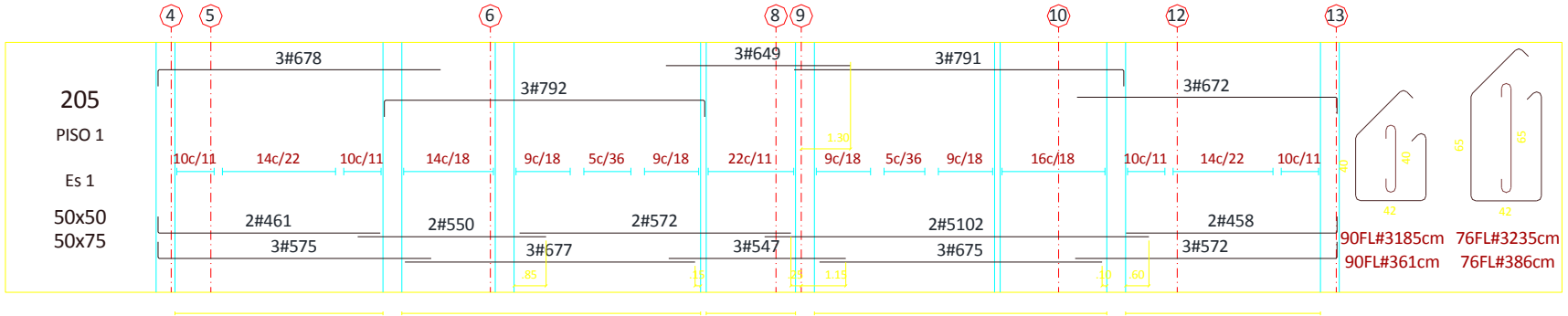


Figura 61. Viga cambio de sección en altura en AutoCAD
Fuente propia

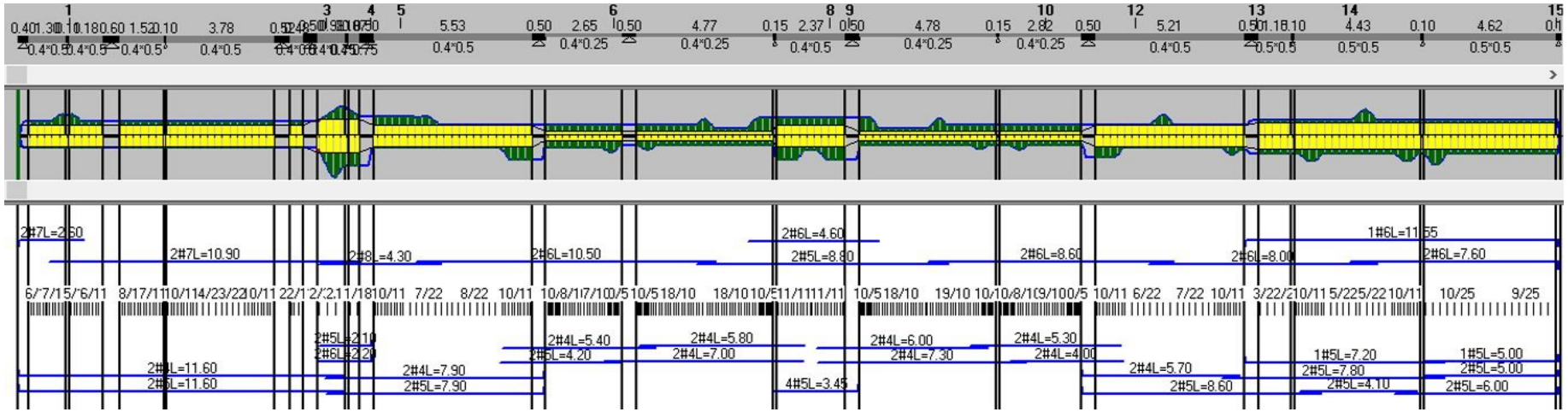


Figura 62. Viga cambio de sección en planta en DC-CAD
Fuente propia

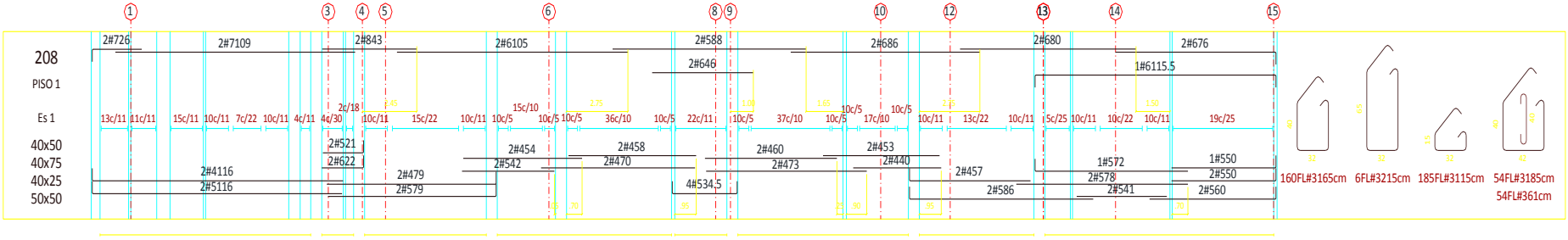


Figura 63. Viga cambio de sección en planta en AutoCAD
Fuente propia

6.4 Vigas de Amarre

Estas vigas son típicas de cimentaciones con zapatas, trasmiten fuerzas axiales sísmicas provenientes de las columnas, y son analizadas también para resistir los momentos generados por los asentamientos según el estudio de suelos. Dado que, los asentamientos generan momentos positivos y negativos en los apoyos, los traslapos deben hacerse en un costado del tercio medio de la luz, escalonados si son DMI o DMO, y todos en la misma zona si son DES. En PyP Proyectos, se ha creado una hoja de cálculo para el análisis de este tipo de vigas, llamada "**diseño vigas de amarre**" que se encuentra en la siguiente ruta:
Z:\Formatos-tecnicos\NSR-10\cimentación y contención.

Por otro lado, las vigas de amarre también deben ser despiezadas según los requisitos del C.21, es decir, según el grado de disipación de energía de la estructura (DMI, DMO o DES), ya que este tipo de vigas también hacen parte del sistema de resistencia sísmico, según C.15.13 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo, 2010, pág. C301).

Generalmente, las vigas de amarre no son modeladas en ETABS, por lo que se deben hacer manualmente en DC-CAD por medio de la opción **"Crear proyecto de viguetas"** del menú de inicio. Al igual que en las vigas mencionadas en capítulos anteriores, para las vigas de amarre también se han generado las variables fijas en DC-CAD, llamadas **"VG-AM-DMO"** para vigas de amarre DMI y DMO, y **"VG-AM-DES"** para vigas de amarre DES. Dichas variables se encuentran ubicadas en la siguiente ruta: Z:\Formatos-tecnicos\variables DC-CAD\Variables fijas.

Teniendo en cuenta las anteriores recomendaciones, las vigas de amarre para DMI, DMO y DES, se visualizarían como se muestran en la *Figura 64.* Viga de amarre DMI o DMO en DC-CAD, la *Figura 65.* Viga de amarre DMI o DMO en AutoCAD, la *Figura 66.* Viga de amarre DES en DC-CAD, y la *Figura 67.* Viga de amarre DES en AutoCAD.

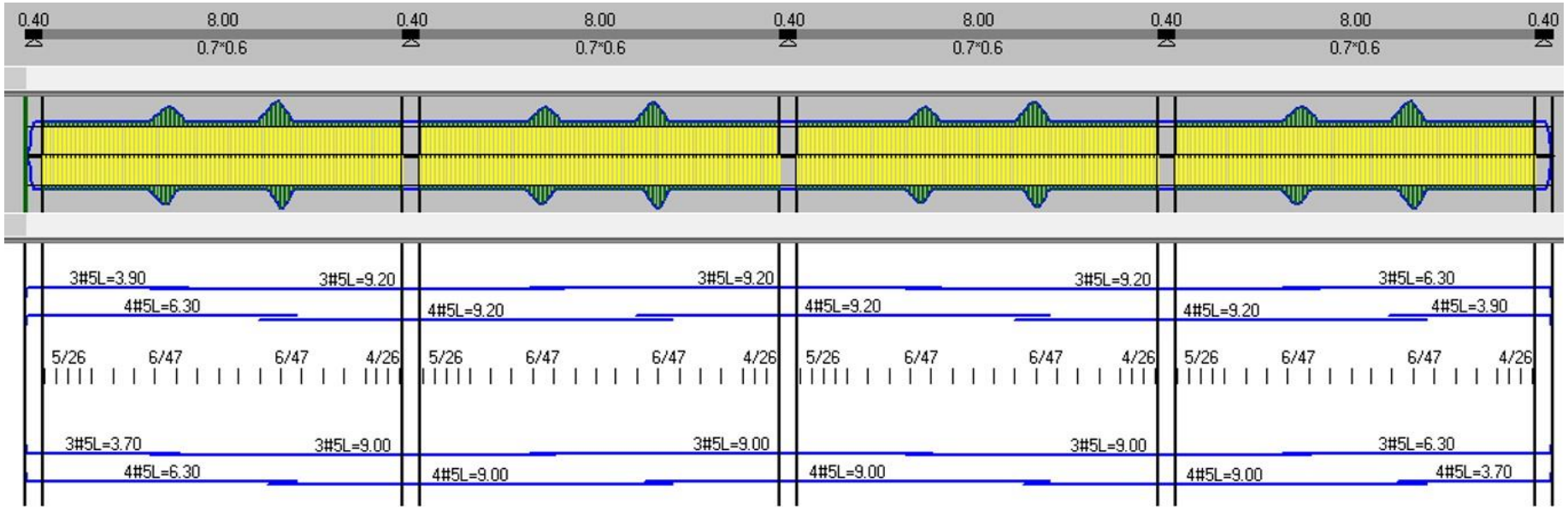


Figura 64. Viga de amarre DMI o DMO en DC-CAD
Fuente propia

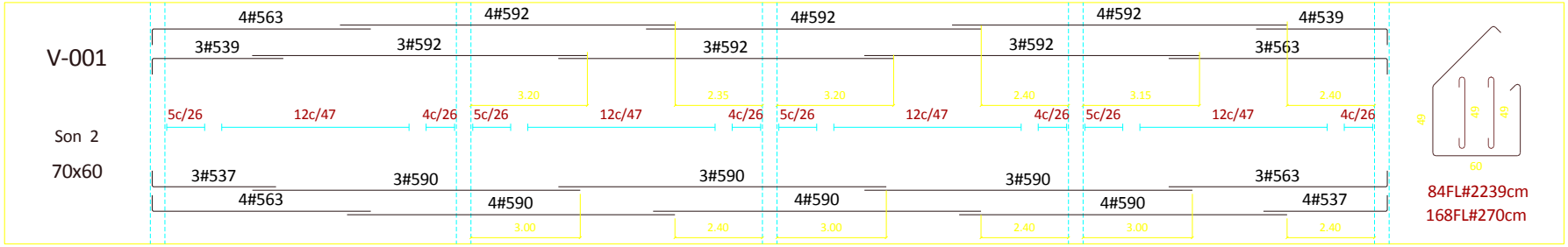


Figura 65. Viga de amarre DMI o DMO en AutoCAD
Fuente propia

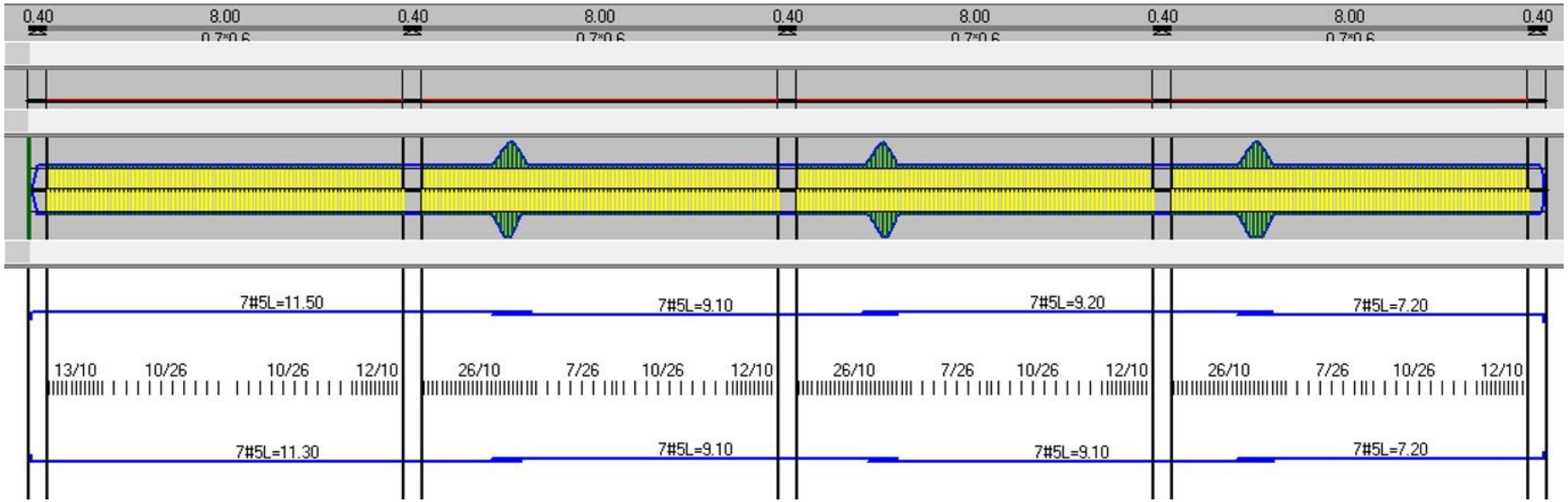


Figura 66. Viga de amarre DES en DC-CAD
Fuente propia

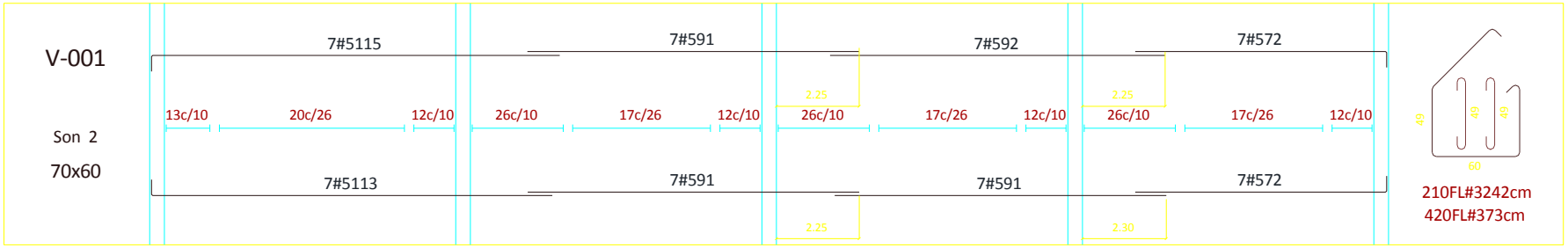


Figura 67. Viga de amarre DES en AutoCAD
Fuente propia

6.5 Vigas con Primera y Segunda Etapa

En sistemas de excavación con anillos constructivos, la mayoría de vigas en los sótanos y en el primer piso se construyen por etapas, por lo general en dos etapas. En muchos casos, las vigas que hacen parte del anillo constructivo no son definitivas, esto implica hacer demoliciones locales por la existencia de vacíos en arquitectura, como se evidencia en las siguientes imágenes.

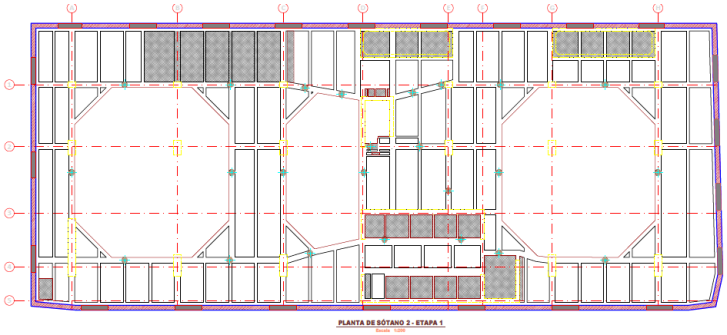


Figura 68. Planta típica sótano en primera etapa
Fuente propia

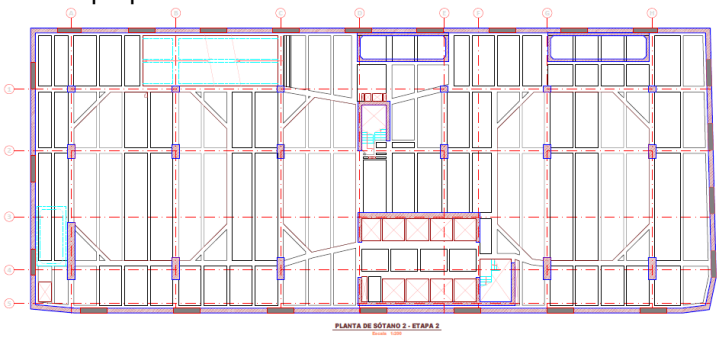


Figura 69. Planta típica sótano en segunda etapa
Fuente propia

En los casos expuestos anteriormente, se deben prever en primera etapa empalmes por traslapo del refuerzo, o empalmes mecánicos, según la preferencia del cliente, con el fin de dar continuidad a los tramos de las vigas en segunda etapa. Si se eligen empalmes por traslapo, estos deben ser Clase B, dado que en este caso todo el refuerzo se traslapa en la misma zona, tanto en el refuerzo superior como en el refuerzo inferior, tal y como se muestra en la *Figura 70.* Viga con primera y segunda etapa en DC-CAD, y en la *Figura 71.* Viga con primera y segunda etapa en AutoCAD.

Por otro lado, cuando deben hacerse demoliciones locales de tramos de vigas, en el despiece se deben prever ganchos estándar en los apoyos que delimitan el tramo a demoler, y dejar embebido el refuerzo de la primera etapa con traslapos Clase B, como se muestra en la *Figura 72.* Viga con tramo a demoler en segunda etapa – DC-CAD, y en la *Figura 73.* Viga con tramo a demoler en segunda etapa – AutoCAD.

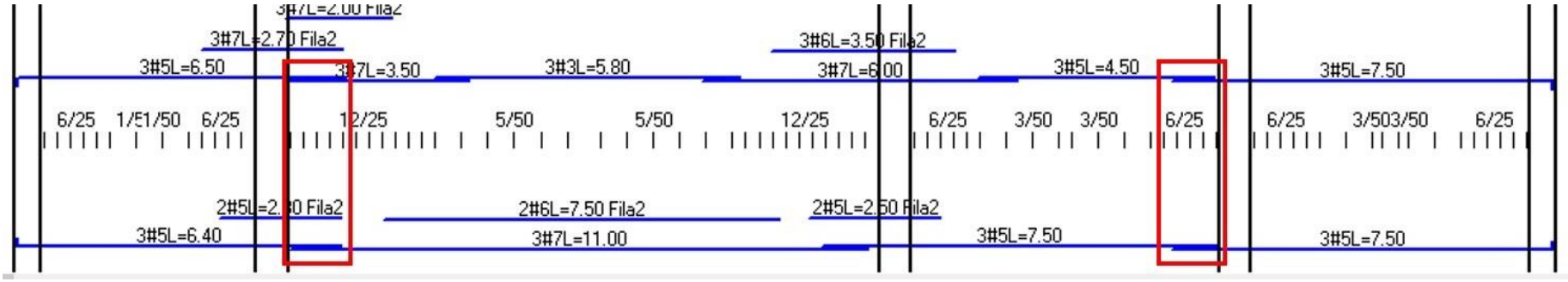


Figura 70. Viga con primera y segunda etapa en DC-CAD
Fuente propia

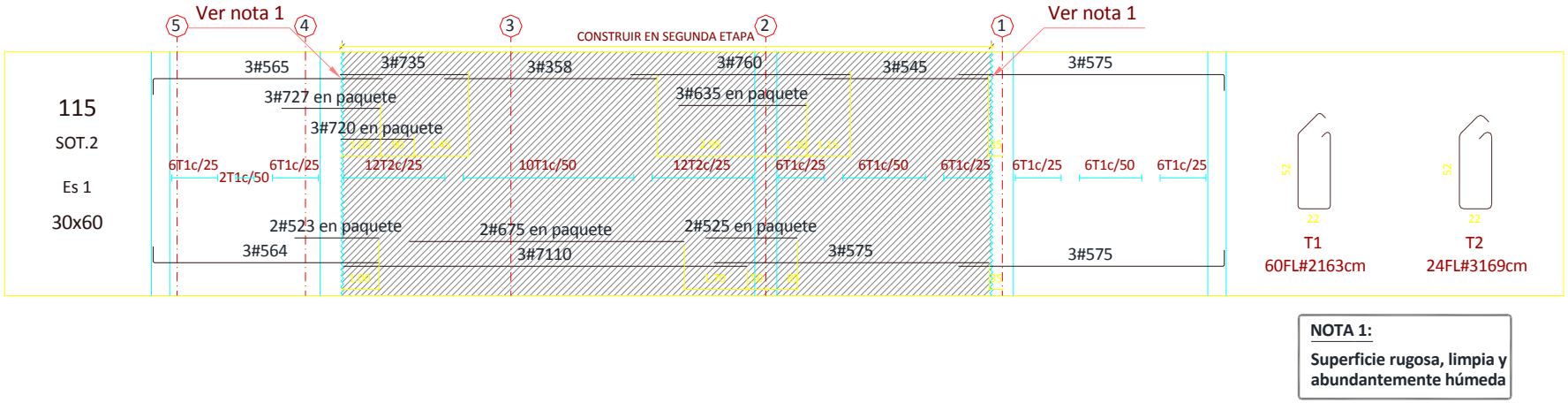


Figura 71. Viga con primera y segunda etapa en AutoCAD
Fuente propia

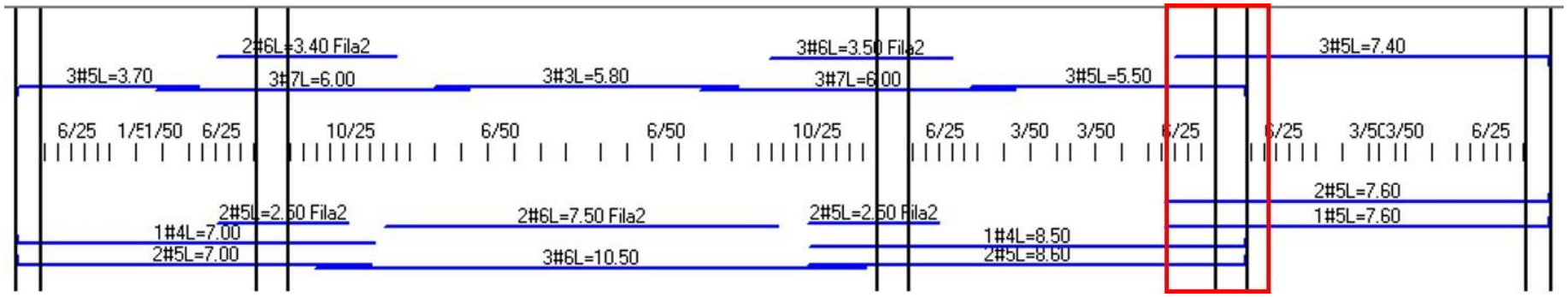


Figura 72. Viga con tramo a demoler en segunda etapa – DC-CAD
Fuente propia

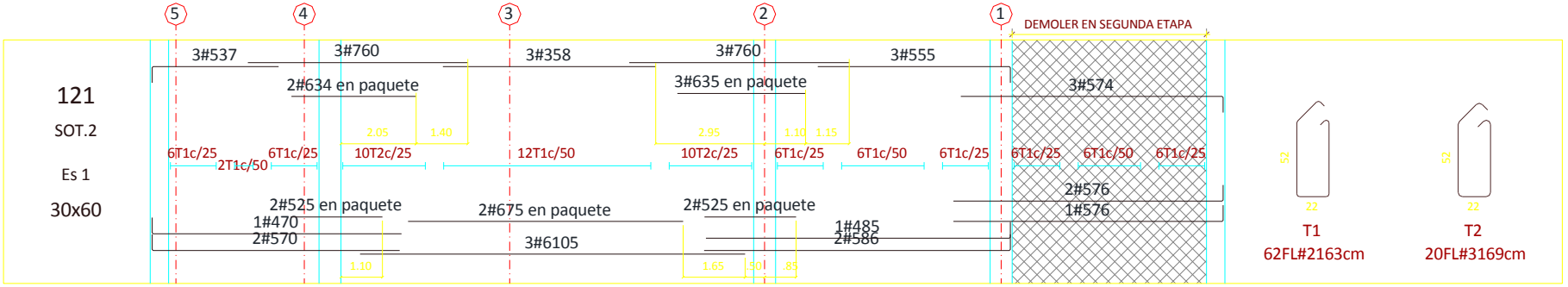


Figura 73. Viga con tramo a demoler en segunda etapa – AutoCAD
Fuente propia

6.6 Vigas con Refuerzo en las Caras Laterales

Las vigas que hacen parte de anillos constructivos o muros de contención, no sólo se requieren refuerzo superior e inferior, sino también refuerzo en las caras laterales, para soportar el empuje del suelo. Dicho refuerzo en las caras laterales, debe incluirse en los despieces de las vigas en DC-CAD, e indicar con una convención, cual es el refuerzo de la cara contra el terreno y el refuerzo en la cara opuesta, adicionando un detalle para mejor comprensión en AutoCAD.

Adicionalmente, los empalmes por traslapo del refuerzo lateral deben hacerse teniendo en cuenta el grado de disipación de energía de la estructura, tal como se explicó en los capítulos anteriores. Si se requiere flejes adicionales por el cortante generado en la cara superior e inferior de este tipo de vigas, estos se deben colocar manualmente en AutoCAD. Ver *Figura 75.* Viga con refuerzo en las caras laterales - DC-CAD, y *Figura 76.* Viga con refuerzo en las caras laterales – AutoCAD

6.7 Vigas con Refuerzo en Paquete y en Segunda Fila

En ocasiones, cuando las vigas son muy altas, no es suficiente colocar refuerzo en paquete para resistir los esfuerzos a flexión. En estos casos, se puede colocar refuerzo en segunda fila a tres centímetros de las barras en paquete. En AutoCAD se deben colocar manualmente, los sufijos “en paquete” y “en segunda fila” a las barras de refuerzo según corresponda, como se puede ver en la *Figura 77.* Viga con refuerzo en paquete y segunda fila – DC-CAD, y en la *Figura 78.* Viga con refuerzo en paquete y segunda fila – AutoCAD.

Se recomienda NO traslapar barras en paquete, puesto que la longitud de desarrollo depende del diámetro equivalente de las barras que lo componen, generando así una longitud de desarrollo muy grande.

6.8 Vigas Inclinadas

Para evitar la congestión del refuerzo en los nudos viga-columna, donde una viga inclinada inicia o termina, se puede dejar sin gancho el refuerzo longitudinal superior para que sea embebido en la placa con su respectiva longitud de desarrollo. Si se trata de una placa aligerada también el refuerzo inferior puede tener el mismo tratamiento.

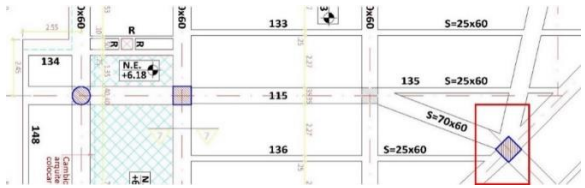


Figura 74. Planta viga inclinada – AutoCAD
Fuente propia

En DC-CAD se debe dejar la longitud del refuerzo más larga, para posteriormente mover la barra de refuerzo hacia afuera del apoyo en AutoCAD, como se indica en la *Figura 79.* Viga inclinada en DC-CAD, y en la *Figura 80.* Viga inclinada en AutoCAD.

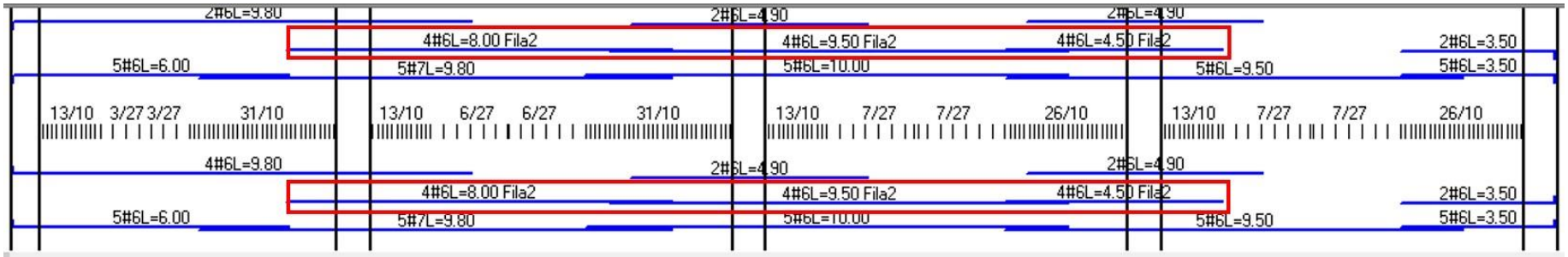
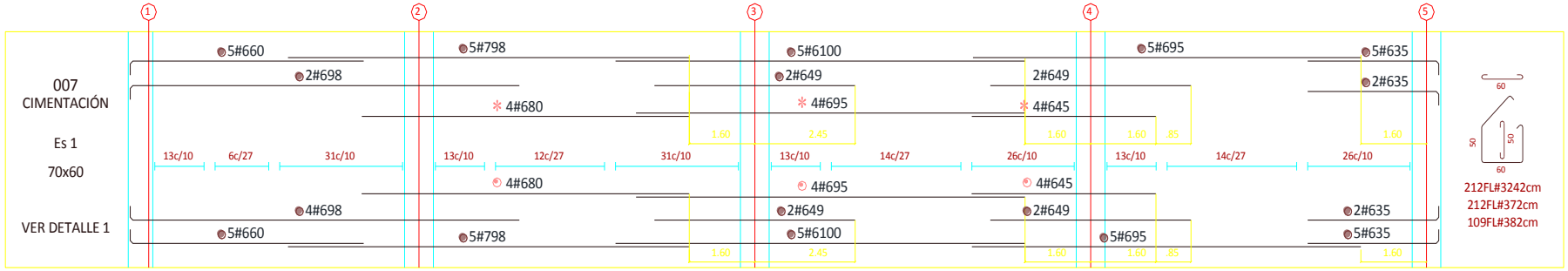
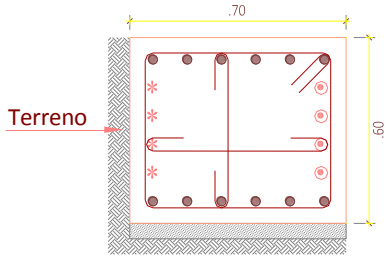


Figura 75. Viga con refuerzo en las caras laterales - DC-CAD
Fuente propia





DETALLE 1
Escala 1:25

Figura 76. Viga con refuerzo en las caras laterales – AutoCAD
Fuente propia

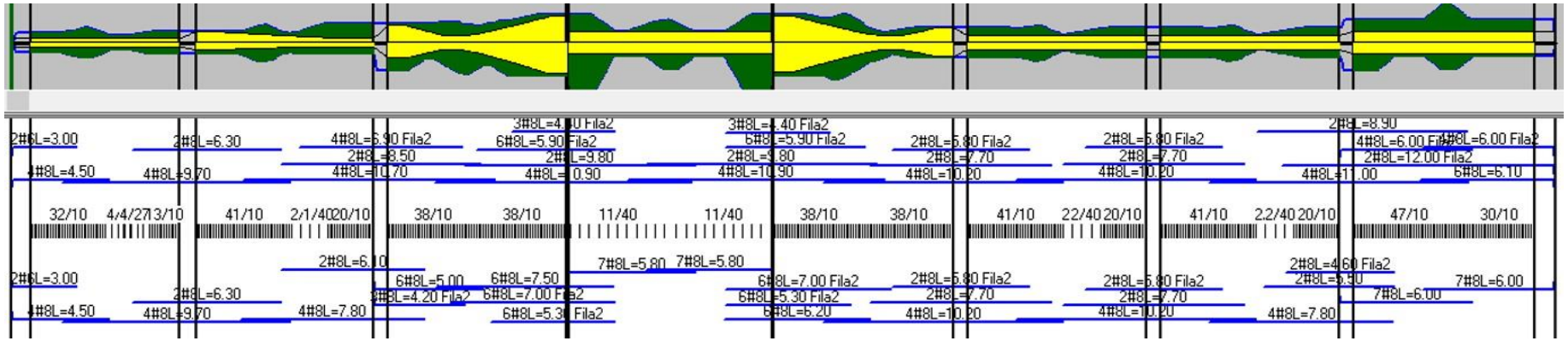


Figura 77. Viga con refuerzo en paquete y segunda fila – DC-CAD
Fuente propia

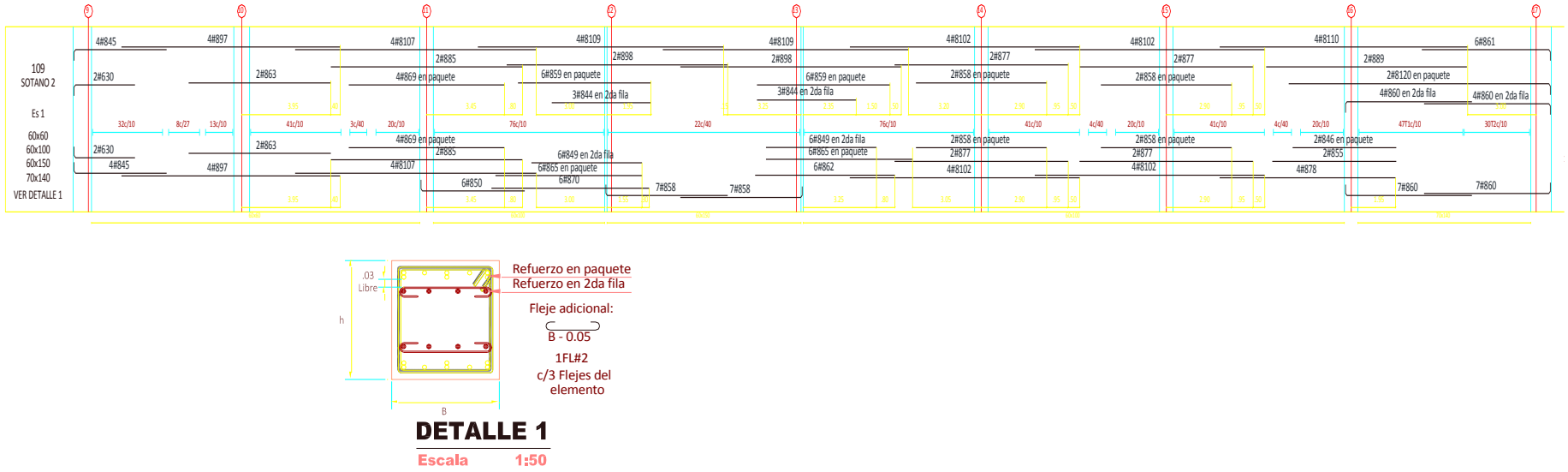


Figura 78. Viga con refuerzo en paquete y segunda fila – AutoCAD
Fuente propia

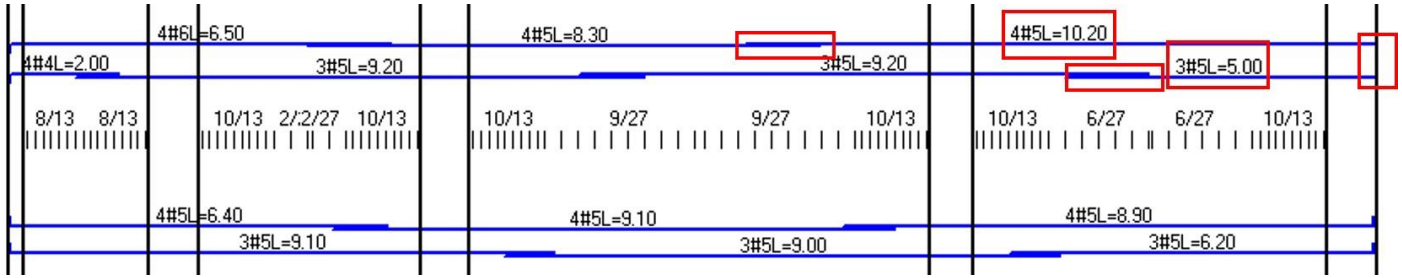


Figura 79. Viga inclinada en DC-CAD
Fuente propia

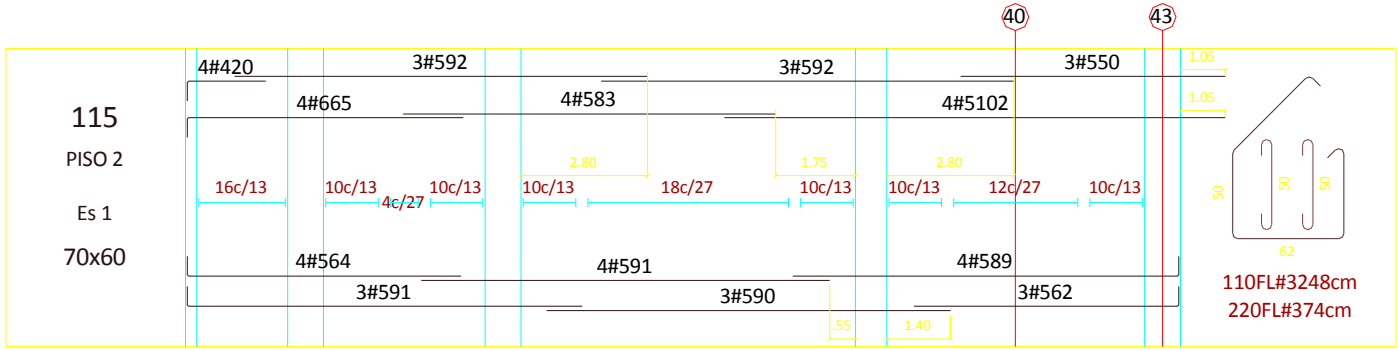


Figura 80. Viga inclinada en AutoCAD
Fuente propia

LISTA DE REFERENCIAS

American Concrete Institute. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-14.* Bogotá: American Concrete Institute.

Garcia, L., Palomino, C., & Segura, J. (2015). Capitulos del nuevo ACI-318. *Seminario El Nuevo ACI-318-14*. Bogotá: 11 de Septiembre 2015.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.* Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Nilson, A. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto* (Décima ed.). Bogotá: McGraw-Hill.

Segura, J. (2011). *Estructuras de Concreto I* (Séptima ed.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.