MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL
VIGAS DE AMARRE DE CIMENTACIÓN - CORRAL SEMOVIENTES SENA
Rediseño por tipificación de vigas VC-01, VC-02, VC-03, VC-04 y VC-05
NSR-10 Título C - Concreto estructural

PROYECTO	Adecuación corral semovientes SENA
MUNICIPIO	Fusagasugá, Cundinamarca
ELEMENTO	Vigas de amarre de cimentación tipificadas
SISTEMA	Vigas entre elementos de cimentación con pedestales/columnas conectadas
CONCRETO	f'c = 21 MPa
ACERO	fy = 420 MPa
RECUBRIMIENTO NOMINAL	75 mm contra terreno natural
PLANO BASE	HT-01 Hoja de Trabajo.pdf y planta de corral suministrada

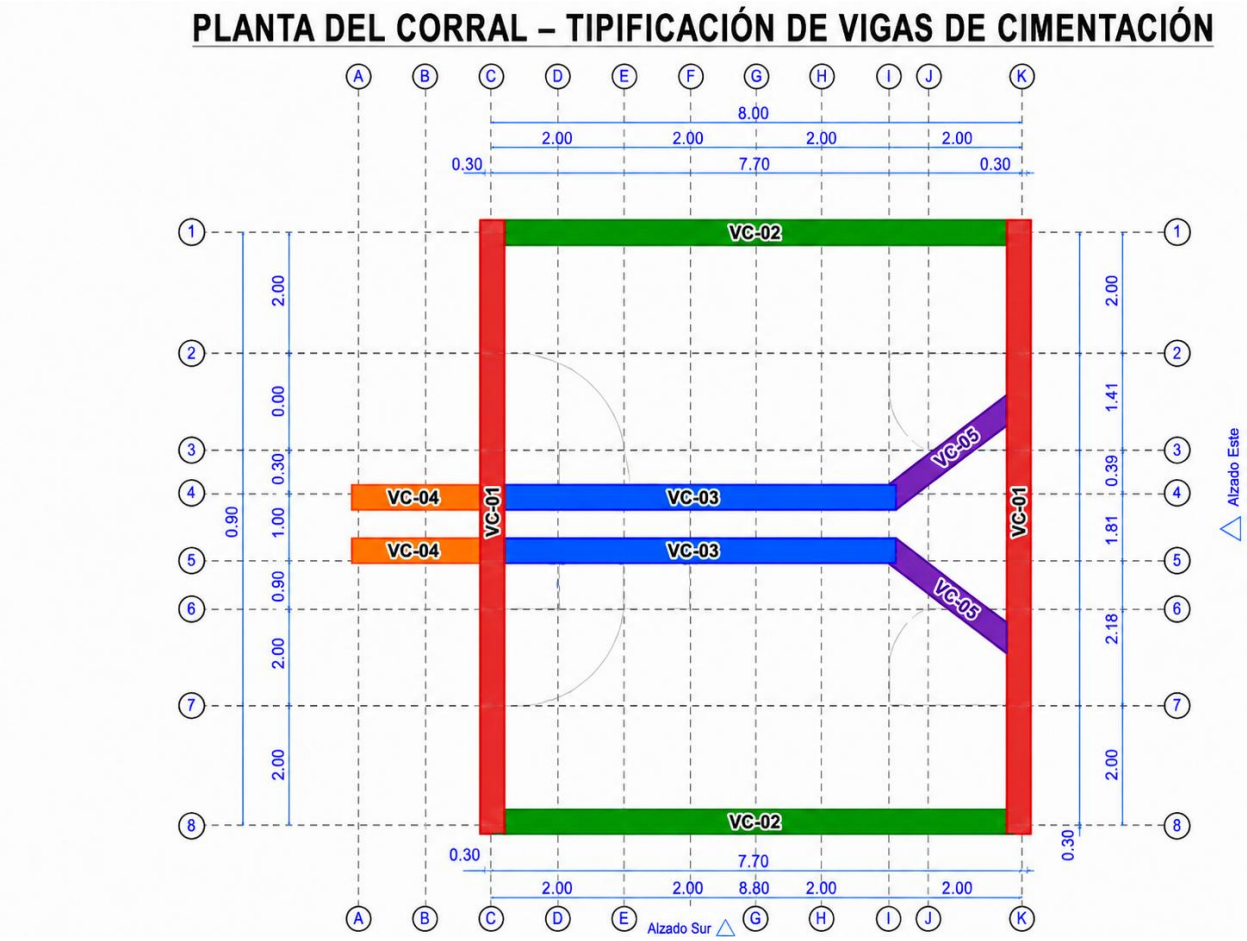


Figura 1. Planta del corral con tipificación de vigas de cimentación.

1. Alcance y criterio de diseño

Se evalúa las vigas de cimentación del corral con base en la planta general VC-01, VC-02, VC-03, VC-04 y VC-05. Manteniendo la sección 30 × 50 cm, concreto f'c = 21 MPa, acero fy = 420 MPa y recubrimiento nominal de 75 mm por fundirse contra terreno natural.

Las vigas se evalúan como vigas de amarre de cimentación, cuya función principal es enlazar elementos de cimentación y transmitir esfuerzos axiales de tracción y compresión asociados a acciones sísmicas, además de controlar desplazamientos relativos y asentamientos diferenciales. Como verificación conservadora adicional, se revisan flexión y cortante por peso propio.

2. Normativa aplicada

NORMA / SECCIÓN	APLICACIÓN EN ESTA MEMORIA
NSR-10 Título A, A.3.6.4.2	Fuerza mínima de amarre en cimentación: Pu = 0.25 Aa Pv,max.
NSR-10 Título A, Apéndice A-4	Parámetros sísmicos municipales; para Fusagasugá se adopta Aa = 0.20.
NSR-10 Título C, C.15.13	Requisitos para vigas de amarre de cimentación.
NSR-10 Título C, C.7.7	Recubrimiento para concreto colocado contra terreno; se adopta r = 75 mm.
NSR-10 Título C, C.9	Método de diseño por resistencia: φRn ≥ Ru.
NSR-10 Título C, C.10 y C.11	Verificación de flexión y cortante en concreto reforzado.
NSR-10 Título C, C.12	Longitudes de desarrollo, anclaje y empalmes por traslapo.

3. Tipificación estructural adoptada

Con base al plano suministrado se proyectan las vigas de cimentación que sirven de soporte para la estructura metálica del corral. A continuación, se resalta sus características preliminares.

TIPO	UBICACIÓN / DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	L POR UNIDAD	SECCIÓN
VC-01	Viga perimetral larga	2	9.00 m	30 × 50 cm
VC-02	Viga perimetral media	2	8.30 m	30 × 50 cm
VC-03	Viga central del brete, proyección en ejes 4 y 5	2	6.87 m	30 × 50 cm
VC-04	Viga corta de conexión,	2	1.83 m	30 × 50 cm
VC-05	Viga diagonal de arriostramiento,	2	2.02 m	30 × 50 cm

4. Datos geométricos y materiales

Para el dimensionamiento de las vigas de cimentación se tiene en cuenta parámetros geométricos que son fundamentales para definir las cantidades de obra como a su vez las dimensiones de las secciones que se han de proyectar dentro de las acciones a las cuales están sometidas la estructura al esfuerzo cortante como a la flexión.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR
Ancho de viga	b	300 mm
Altura total	h	500 mm
Recubrimiento nominal	r	75 mm
Diámetro barra #4	db,#4	12.7 mm
Área barra #4	Ab,#4	129 mm²
Diámetro barra #3	db,#3	9.5 mm
Área barra #3	Ab,#3	71 mm²
Resistencia concreto	f'c	21 MPa
Fluencia acero	fy	420 MPa
Peso específico concreto	γc	24 kN/m³

5. Verificación dimensional

De acuerdo con la **NSR-10, Título C, sección C.15.13.3**, las vigas de amarre de cimentación deben tener una sección transversal cuya **mayor dimensión** sea al menos igual a una fracción de la luz libre entre apoyos, dependiendo de la capacidad de disipación de energía de la estructura. Para estructuras con capacidad de disipación especial, moderada o mínima, se emplean respectivamente los criterios $L/20$, $L/30$y $L/40$.

La sección adoptada para las vigas es:

$$b = 0.30\,m$$
$$h = 0.50\,m$$

Por tanto, la mayor dimensión de la sección transversal es:

$$h_{max} = 0.50\,m$$

La luz máxima corresponde a la viga V-101:

$$L_{max} = 9.35\,m$$

Verificación para DMI:

$$h_{min,DMI} = \frac{L}{40}$$

$$h_{min,DMI} = \frac{9.35}{40}$$

$$h_{min,DMI} = 0.23375\,m$$

$$h_{min,DMI} = 23.38\,cm$$

Comparación:

$$h_{max} = 0.50\,m \geq 0.23375\,m$$

Cumple para DMI

Verificación para DMO:

$$h_{min,DMO} = \frac{L}{30}$$

$$h_{min,DMO} = \frac{9.35}{30}$$

$$h_{min,DMO} = 0.3117\,m$$

$$h_{min,DMO} = 31.17\,cm$$

Comparación:

$$h_{max} = 0.50\,m \geq 0.3117\,m$$

Cumple para DMO

Verificación para DES:

$$h_{min,DES} = \frac{L}{20}$$

$$h_{min,DES} = \frac{9.35}{20}$$

$$h_{min,DES} = 0.4675\,m$$

$$h_{min,DES} = 46.75\,cm$$

Comparación:

$$h_{max} = 0.50\,m \geq 0.4675\,m$$

Cumple para DES

La viga de cimentación proyectada con sección **30 × 50 cm** cumple el requisito dimensional de la **NSR-10 C.15.13.3**, aun considerando el caso más exigente correspondiente a **DES**, dado que la mayor dimensión adoptada de la sección es:

$$0.50\,m$$

y la mínima requerida para la luz crítica de **9.35 m** es:

$$0.4675\ m$$

Por tanto:

$$\boxed{0.50\ m > 0.4675\ m}$$

La sección **30 × 50 cm** es dimensionalmente adecuada como viga de amarre de cimentación, general para las secciones de las vigas de cimentación.

6. Obtención de parámetros resistentes.

En el presente análisis, las vigas de cimentación se evalúan como vigas de amarre sísmico, cuya función estructural principal es vincular entre sí los elementos de cimentación asociados a pedestales o columnas, garantizando la transmisión de esfuerzos axiales de tracción y compresión originados por la acción sísmica y limitando desplazamientos relativos entre apoyos. Para este caso no se considera la viga como elemento principal de soporte de cargas gravitacionales de muros o losas, sino como un elemento de confinamiento y enlace de la cimentación.

La obtención de los parámetros resistentes de la viga de amarre se realiza conforme al método de diseño por resistencia de la **NSR-10, Título C**, en el cual debe verificarse que la resistencia de diseño sea mayor o igual que la resistencia requerida:

$$\phi R_n \geq R_u$$

Donde:

$R_n =$ resistencia nominal
$R_u =$ solicitación última mayorada.
$\phi =$ factor de reducción de resistencia.

Este criterio corresponde al requisito general de resistencia del Capítulo C.9 de la NSR-10, Título C.

6.1. Altura útil de la sección

La altura útil corresponde a la distancia entre la fibra extrema comprimida y el centroide del acero longitudinal traccionado.

$$d = h - r - d_{est} - \frac{d_b}{2}$$

Sustituyendo:

$$d = 500 - 75 - 9.5 - \frac{12.7}{2}$$
$$d = 500 - 75 - 9.5 - 6.35$$
$$\boxed{d = 409.15\, mm}$$

Para efectos de cálculo:

$$\boxed{d = 409\, mm}$$

6.2. Área de acero longitudinal

El refuerzo longitudinal mínimo adoptado para la viga de amarre corresponde a:

$$2\#4 \text{ superiores} + 2\#4 \text{ inferiores}$$

Por tanto:

$$A_s = nA_b$$
$$A_s = 4(129)$$
$$\boxed{A_s = 516\, mm^2}$$

Para el caso de flexión positiva con dos barras inferiores:

$$A_{s,2\#4} = 2(129)$$
$$\boxed{A_{s,2\#4} = 258\, mm^2}$$

Para V-101, con una barra inferior adicional:

$$A_{s,3\#4} = 3(129)$$
$$\boxed{A_{s,3\#4} = 387\, mm^2}$$

6.3. Resistencia axial a tracción.

Para la condición de amarre sísmico, la resistencia a tracción se toma aportada por el acero longitudinal continuo. El concreto no se considera resistente a tracción.

$$P_n = A_s f_y$$

Sustituyendo:

$$P_n = 516(420)$$
$$P_n = 216720\, N$$

$$P_n = 216.72\ kN$$

Aplicando factor de reducción para tracción controlada:

$$\phi = 0.90$$
$$\phi P_n = 0.90(216.72)$$
$$\boxed{\phi P_n = 195.05\ kN}$$

Condición de aceptación:

$$\boxed{\phi P_n \geq P_u}$$

6.4. Fuerza axial sísmica mínima de amarre.

Para vigas de amarre de cimentación, la NSR-10 exige verificar una fuerza axial mínima en tensión o compresión. La fuerza se determina mediante:

$$P_u = 0.25 A_a P_{v,max}$$

Donde:

$A_a =$ coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva
$P_{v,max} =$ máxima carga vertical de servicio o diseño del elemento conectado

Para Fusagasugá:

$$A_a = 0.20$$

Por tanto:

$$P_u = 0.25(0.20) P_{v,max}$$
$$P_u = 0.05 P_{v,max}$$
$$\boxed{P_u = 5\%\ P_{v,max}}$$

La condición resistente queda:

$$195.05 \geq 0.05 P_{v,max}$$

Despejando:

$$P_{v,max} \leq \frac{195.05}{0.05}$$
$$\boxed{P_{v,max} \leq 3901\ kN}$$

Por tanto, el refuerzo longitudinal continuo de **4#4** permite resistir la fuerza axial mínima de amarre asociada a cargas verticales conectadas de hasta:

$$\boxed{3901\,kN}$$

La NSR-10 Título C incluye disposiciones específicas para vigas de amarre en cimentación en C.15.13, y remite a la fuerza axial mínima establecida en el Título A.

6.5. Acero mínimo a flexión

Para elementos sometidos a flexión, se verifica el acero mínimo: Teniendo en cuenta el valor máximo entre las dos expresiones:

$$A_{s,min} = \max\left(\frac{0.25\sqrt{f'c}}{f_y}bd, \frac{1.4}{f_y}bd\right)$$

Primera expresión:

$$A_{s,min,1} = \frac{0.25\sqrt{21}}{420}(300)(409.15)$$
$$A_{s,min,1} = \frac{0.25(4.583)}{420}(122745)$$
$$A_{s,min,1} = \frac{1.1458}{420}(122745)$$
$$\boxed{A_{s,min,1} = 334.8\,mm^2}$$

Segunda expresión:

$$A_{s,min,2} = \frac{1.4}{420}(300)(409.15)$$
$$A_{s,min,2} = 0.003333(122745)$$
$$\boxed{A_{s,min,2} = 409.2\,mm^2}$$

Por tanto:

$$A_{s,min} = \max(334.8, 409.2)$$
$$\boxed{A_{s,min} = 409.2\,mm^2}$$

Comparación:

$$A_s(4\#4) = 516\,mm^2 > 409.2\,mm^2$$

Cumple acero longitudinal mínimo total.

6.6. Resistencia nominal a flexión con 2#4

Para flexión positiva con dos barras inferiores:

$$A_s = 258\, mm^2$$

La profundidad del bloque rectangular equivalente de compresión se obtiene de:

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'cb}$$

Sustituyendo:

$$a = \frac{258(420)}{0.85(21)(300)}$$
$$a = \frac{108360}{5355}$$
$$\boxed{a = 20.24\, mm}$$

El momento nominal resistente es:

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$$
$$M_n = 258(420)\left(409.15 - \frac{20.24}{2}\right)$$
$$M_n = 108360(409.15 - 10.12)$$
$$M_n = 108360(399.03)$$
$$M_n = 43\,236\,010\, N \cdot mm$$

Conversión:

$$M_n = \frac{43\,236\,010}{10^6}$$
$$M_n = 43.24\, kN \cdot m$$

Aplicando:

$$\phi = 0.90$$
$$\phi M_n = 0.90(43.24)$$
$$\boxed{\phi M_n = 38.92\, kN \cdot m}$$

6.7. Resistencia nominal a flexión con 3#4 en VC - 01

Para la viga VC - 01 se adopta una barra inferior adicional en zona de momento positivo:

$$A_s = 3(129)$$

$$A_s = 387\ mm^2$$

Profundidad del bloque equivalente:

$$a = \frac{387(420)}{0.85(21)(300)}$$
$$a = \frac{162540}{5355}$$
$$\boxed{a = 30.35\ mm}$$

Momento nominal:

$$M_n = 387(420)\left(409.15 - \frac{30.35}{2}\right)$$
$$M_n = 162540(409.15 - 15.18)$$
$$M_n = 162540(393.97)$$
$$M_n = 64\,037\,480\ N \cdot mm$$
$$M_n = 64.04\ kN \cdot m$$

Momento de diseño:

$$\phi M_n = 0.90(64.04)$$
$$\boxed{\phi M_n = 57.63\ kN \cdot m}$$

6.8. Momento último por peso propio

Aunque la viga se diseña como amarre sísmico, se verifica conservadoramente el peso propio como carga distribuida.
Peso propio:

$$w_D = bh\gamma_c$$
$$w_D = 0.30(0.50)(24)$$
$$\boxed{w_D = 3.60\ kN/m}$$

Carga mayorada:

$$w_u = 1.20 w_D$$
$$w_u = 1.20(3.60)$$
$$\boxed{w_u = 4.32\ kN/m}$$

Momento último para condición simplemente apoyada:

$$M_u = \frac{w_u L^2}{8}$$

VIGA VC-01

Longitud adoptada:

$$L = 9.00\,m$$

Momento último:

$$M_u = \frac{w_u L^2}{8}$$

$$M_u = \frac{4.32(9.00)^2}{8}$$

$$M_u = \frac{4.32(81.00)}{8}$$

$$M_u = \frac{349.92}{8}$$

$$\boxed{M_u = 43.74\,kN \cdot m}$$

VIGA VC-02

Longitud adoptada:

$$L = 8.30\,m$$

Momento último:

$$M_u = \frac{4.32(8.30)^2}{8}$$

$$M_u = \frac{4.32(68.89)}{8}$$

$$M_u = \frac{297.60}{8}$$

$$\boxed{M_u = 37.20\,kN \cdot m}$$

VIGA VC-03

Longitud adoptada:

$$L = 6.87\,m$$

Momento último:

$$M_u = \frac{4.32(6.87)^2}{8}$$

$$M_u = \frac{4.32(47.1969)}{8}$$

$$M_u = \frac{203.89}{8}$$

$$\boxed{M_u = 25.49\ kN \cdot m}$$

VIGA VC-04

Longitud adoptada:

$$L = 1.83\ m$$

Momento último:

$$M_u = \frac{4.32(1.83)^2}{8}$$

$$M_u = \frac{4.32(3.3489)}{8}$$

$$M_u = \frac{14.47}{8}$$

$$\boxed{M_u = 1.81\ kN \cdot m}$$

VIGA VC-05

Longitud adoptada:

$$L = 2.02\ m$$

Momento último:

$$M_u = \frac{4.32(2.02)^2}{8}$$

$$M_u = \frac{4.32(4.0804)}{8}$$

$$M_u = \frac{17.63}{8}$$

$$\boxed{M_u = 2.20\ kN \cdot m}$$

6.9. Resistencia a cortante

La resistencia nominal a cortante de las vigas de amarre se calcula como la suma de la contribución del concreto y del acero transversal:

$$V_n = V_c + V_s$$

Donde:

$$V_c = 0.17\sqrt{f'c}bd$$
$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

Para la sección adoptada:

$$b = 300\,mm$$
$$h = 500\,mm$$
$$d = 409.15\,mm$$
$$f'c = 21\,MPa$$
$$f_y = 420\,MPa$$

El estribo adoptado es **#3 cerrado de dos ramas**:

$$A_{\#3} = 71\,mm^2$$
$$A_v = 2A_{\#3}$$
$$A_v = 2(71)$$
$$\boxed{A_v = 142\,mm^2}$$

- **Separación máxima normativa.**

Para vigas de amarre de cimentación, la separación máxima de estribos cerrados no debe exceder la mitad de la menor dimensión de la sección ni 300 mm. La menor dimensión de la viga es:

$$b = 300\,mm$$
$$s_{max,1} = \frac{300}{2}$$
$$s_{max,1} = 150\,mm$$
$$s_{max,2} = 300\,mm$$

Por tanto:

$$s_{max} = \min(150,300)$$
$$\boxed{s_{max} = 150\,mm}$$

Se adopta para revisión resistente la condición más desfavorable:

$$\boxed{s = 150\,mm}$$

Esto cubre las zonas con **#3 c/15 cm**. En las zonas con **#3 c/10 cm**, la capacidad a cortante será mayor.

- **Contribución del concreto:**

La contribución del concreto al cortante, V_c, representa la porción de la resistencia a cortante que puede ser tomada por la sección de concreto antes de considerar el aporte de los estribos. En vigas de concreto reforzado, esta resistencia se asocia principalmente a la capacidad del concreto no fisurado, al engranamiento de agregados en las fisuras inclinadas y a la acción de dovela del acero longitudinal. Para efectos de diseño, la NSR-10 Título C permite evaluar dicha contribución mediante la expresión $V_c = 0.17\sqrt{f'c}bd$, donde $f'c$corresponde a la resistencia especificada del concreto, $b$al ancho de la sección y da la altura útil. En este caso, con $f'c = 21\,MPa$, $b = 300\,mm$y $d = 409.15\,mm$, se obtiene una contribución del concreto de $V_c = 95.64\,kN$. Este valor se suma posteriormente a la contribución del acero transversal $V_s$para obtener la resistencia nominal total a cortante $V_n = V_c + V_s$, la cual se reduce mediante el factor $\phi = 0.75$para comparar contra el cortante último actuante.

$$V_c = 0.17\sqrt{f'c}bd$$

$$V_c = 0.17\sqrt{21}(300)(409.15)$$

$$V_c = 0.17(4.583)(300)(409.15)$$

$$V_c = 0.17(4.583)(122745)$$

$$\boxed{V_c = 95.64\,kN}$$

- **Contribución del acero transversal con #3 c/15 cm**

Con base a la explicación del apartado anterior, podremos definir el aporte que ofrece el acero dentro de la resistencia nominal del elemento estructural:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

$$V_s = \frac{142(420)(409.15)}{150}$$

$$V_s = \frac{24\,402\,786}{150}$$

$$\boxed{V_s = 162.69\ kN}$$

- **Cortante nominal y cortante de diseño**

Se suman las magnitudes que aportan el cortante por concreto y por el acero:

$$V_n = V_c + V_s$$
$$V_n = 95.64 + 162.69$$
$$V_n = 258.33\ kN$$

Aplicando el factor de reducción para cortante:

$$\phi = 0.75$$
$$\phi V_n = 0.75(258.33)$$
$$\boxed{\phi V_n = 193.75\ kN}$$

Esta será la resistencia de diseño adoptada para comparación en las vigas con separación máxima:

$$\boxed{\phi V_n = 193.75\ kN}$$

- **Cortante último por peso propio**

La carga mayorada por peso propio ya calculada es:

$$w_u = 4.32\ kN/m$$

El cortante último para condición simplemente apoyada se calcula como:

$$V_u = \frac{w_u L}{2}$$

Evaluamos cada viga si cumple por cortante según los valores obtenidos:

VIGA VC-01

$$L = 9.00\,m$$

$$V_u = \frac{4.32(9.00)}{2}$$

$$V_u = \frac{38.88}{2}$$

$$\boxed{V_u = 19.44\,kN}$$

Comparación:

$$\phi V_n = 193.75\,kN > V_u = 19.44\,kN$$

VC-01 cumple a cortante

VIGA VC-02

$$L = 8.30\,m$$

$$V_u = \frac{4.32(8.30)}{2}$$

$$V_u = \frac{35.856}{2}$$

$$\boxed{V_u = 17.93\,kN}$$

Comparación:

$$193.75\,kN > 17.93\,kN$$

VC-02 cumple a cortante

VIGA VC-03

$$L = 6.87\,m$$

$$V_u = \frac{4.32(6.87)}{2}$$

$$V_u = \frac{29.6784}{2}$$

$$\boxed{V_u = 14.84\,kN}$$

Comparación:

$$193.75\ kN > 14.84\ kN$$

VC-03 cumple a cortante

VIGA VC-04

$$L = 1.83\ m$$

$$V_u = \frac{4.32(1.83)}{2}$$

$$V_u = \frac{7.9056}{2}$$

$$\boxed{V_u = 3.95\ kN}$$

Comparación:

$$193.75\ kN > 3.95\ kN$$

VC-04 cumple a cortante

En VC-04 se puede usar **#3 c/10 cm en toda la longitud**, por tratarse de viga corta y de conexión. En ese caso, la resistencia sería incluso mayor.

5. Viga VC-05

$$L = 2.02\ m$$

$$V_u = \frac{4.32(2.02)}{2}$$

$$V_u = \frac{8.7264}{2}$$

$$\boxed{V_u = 4.36\ kN}$$

Comparación:

$$193.75\ kN > 4.36\ kN$$

VC-05 cumple a cortante

Finalmente se puede definir que para las 5 vigas tipo se obtienen los siguientes refuerzos:

Tipo	L	Vu	φVn	Estribado adoptado
VC-01	9.00 m	19.44 kN	193.73 kN	#3 c/10 en extremos y #3 c/15 en tramo central
VC-02	8.30 m	17.93 kN	193.73 kN	#3 c/10 en extremos y #3 c/15 en tramo central
VC-03	6.87 m	14.84 kN	193.73 kN	#3 c/10 en conexiones y #3 c/15 en tramo central
VC-04	1.83 m	3.95 kN	193.73 kN	#3 c/10 en toda la longitud
VC-05	2.02 m	4.36 kN	193.73 kN	#3 c/15 en toda la longitud

6.10. Longitud de corte del estribo

Con recubrimiento especificado:

$$r = 75\,mm = 7.5\,cm$$

La viga tiene sección:

$$30 \times 50\,cm$$

Dimensiones aproximadas del estribo medidas entre caras exteriores del acero:

$$b_e = 30 - 2(7.5)$$
$$b_e = 15\,cm$$
$$h_e = 50 - 2(7.5)$$
$$h_e = 35\,cm$$

Se adopta gancho estándar aproximado de:

$$10d_b$$

Para barra #3:

$$d_b = 0.95\,cm$$

Longitud de corte:

$$L_e = 2(b_e + h_e) + 2(10d_b)$$

$$L_e = 2(15 + 35) + 2(10 \times 0.95)$$

$$L_e = 100 + 19$$

$$\boxed{L_e = 119\,cm = 1.19\,m}$$

Con dicha cantidad estimada se podría establecer el numero de flejes totales de toda la retícula de la cimentación del corral:

VIGA	CANTIDAD	L (m)	Zona extrema c/10	Zona central c/15	Estribos por viga	Estribos totales
VC-01	2	9	21 und	47 und	68 und	136 und
VC-02	2	8.3	21 und	43 und	64 und	128 und
VC-03	2	6.87	21 und	33 und	54 und	108 und
VC-04	2	1.83	—	Toda la longitud c/15	14 und	28 und
VC-05	2	2.02	—	Toda la longitud c/15	15 und	30 und
TOTAL	**10**	—	—	—	—	**430 und**

7. LONGITUD DE DESARROLLO PARA EMPALMES:

Se toma en cuenta que las vigas planteadas 3 vigas tienen una longitud mayor a 6 metros por lo tanto se debe definir la longitud de empalme necesaria para que las barras de refuerzo no se deslicen o desplacen durante el vaciado del concreto. Se tienen los siguientes datos de la viga:

$f'c = 21\,MPa$
$f_y = 420\,MPa$
$d_b = 12.7\,mm$
$\lambda = 1.0$
$\psi_e = 1.0$

Para barra #4, se adopta la expresión simplificada para barras No. 6 o menores, con recubrimiento y confinamiento adecuados:

$$\boldsymbol{l_d = \frac{f_y \psi_t \psi_e}{2.1 \lambda \sqrt{f'c}} d_b}$$

Longitud de desarrollo para barras inferiores

Para barras inferiores:

$$\boldsymbol{\psi_t = 1.0}$$

$$l_{d,inf} = \frac{420(1.0)(1.0)}{2.1(1.0)\sqrt{21}}(12.7)$$

$$l_{d,inf} = \frac{420}{2.1(4.583)}(12.7)$$

$$l_{d,inf} = \frac{420}{9.624}(12.7)$$

$$l_{d,inf} = 554.4\,mm$$

$$\boxed{l_{d,inf} = 0.555\,m}$$

Empalme por traslapo Clase B:

$$l_{e,inf} = 1.3 l_d$$

$$l_{e,inf} = 1.3(0.555)$$

$$l_{e,inf} = 0.722\,m$$

$$\boxed{l_{e,inf} = 0.72\,m}$$

Longitud de desarrollo para barras superiores:

Para barras superiores se adopta la condición conservadora de barra superior:

$$\psi_t = 1.3$$

$$l_{d,sup} = \frac{420(1.3)(1.0)}{2.1(1.0)\sqrt{21}}(12.7)$$

$$l_{d,sup} = \frac{546}{9.624}(12.7)$$

$$l_{d,sup} = 720.7\,mm$$

$$\boxed{l_{d,sup} = 0.721\,m}$$

Empalme por traslapo Clase B:

$$l_{e,sup} = 1.3 l_d$$

$$l_{e,sup} = 1.3(0.721)$$

$$l_{e,sup} = 0.937\ m$$

$$\boxed{l_{e,sup} = 0.94\ m}$$

Longitud de traslapo adoptada

Como gobiernan las barras superiores por magnitud:

$$l_{e,gob} = 0.94\ m$$

Por criterio constructivo y para facilitar el replanteo en obra:

$$\boxed{l_e = 1.00\ m}$$

Ese valor se adopta para barras superiores e inferiores, con el fin de tener un único detalle de empalme, más claro para obra y más conservador para las barras inferiores.

Aplicación a las tres vigas

La longitud de traslapo de 1 metro es la misma para VC – 01, VC – 02 y VC – 03.
La longitud de la pieza corta se obtiene con:

$$L_{pieza\ corta} = L_{viga} + l_e - 6.00$$

Donde 6.00 m corresponde a la varilla comercial.

- **Longitud de corte de barras longitudinales**

Para vigas con traslapo:

$$Lcorte = L + le + 2lg$$

Para vigas sin traslapo:

$$Lcorte = L + 2lg$$

TIPO	CANT. VIGAS	L GEOMÉTRICA	BARRAS POR VIGA	LONGITUD DE CORTE POR BARRA	LONGITUD TOTAL #4
VC-01	2	9.00 m	5 barras	9.00+3.60=12.609.00+3.60= 12.609.00+3.60=12.60 m	126.00 m
VC-02	2	8.30 m	4 barras	8.30+3.60=11.908.30+3.60= 11.908.30+3.60=11.90 m	95.20 m
VC-03	2	6.87 m	4 barras	6.87+3.60=10.476.87+3.60= 10.476.87+3.60=10.47 m	83.76 m
VC-04	2	1.83 m	4 barras	1.83+2.60=4.431.83+2.60=4. 431.83+2.60=4.43 m	35.44 m
VC-05	2	2.02 m	4 barras	2.02+2.60=4.622.02+2.60=4. 622.02+2.60=4.62 m	36.96 m
TOTAL	**10**	—	—	—	**377.36 m**

8. CANTIDADES DE OBRA

Con base a la proyección de los refuerzos de cada viga, se obtienen las cantidades de obra en acero como de concreto para cada elemento estructural. Se añade un 5% adicional por desperdicio dentro del proceso constructivo.

REFUERZO LONGITUDINAL:

Peso unitario:

$$p_{\#4} = 0.994\ kg/m$$

$$P_{\#4} = 377.36(0.994)$$

$$\boxed{P_{\#4} = 375.10\ kg}$$

Con 5%:

$$P_{\#4,5\%} = 375.10(1.05)$$

$$\boxed{P_{\#4,5\%} = 393.85\ kg}$$

REFUERZO TRANSVERSAL:

Longitud de corte por estribo:

$$L_c = 1.19\ m$$

$$L_{\#3} = 430(1.19)$$

$$\boxed{L_{\#3} = 511.70\ m}$$

Peso unitario:

$$P_{\#3} = 511.70(0.560)$$

$$\boxed{P_{\#3} = 286.55\, kg}$$

Con 5%:

$$\boxed{P_{\#3,5\%} = 300.88\, kg}$$

CONCRETO:

La cantidad de concreto se calcula con la longitud geométrica de las vigas, sin incluir traslapos de acero:

$$L_{total} = 2(9.00) + 2(8.30) + 2(6.87) + 2(1.83) + 2(2.02)$$

$$L_{total} = 56.04\, m$$

$$V = 0.30(0.50)(56.04)$$

$$\boxed{V = 8.406\, m^3}$$

Con 5%:

$$\boxed{V_{5\%} = 8.826\, m^3}$$

Sin embargo, se debe considerar que las vigas se traslapan geométricamente, por lo que se hará la resta de volumen que comparten los nodos donde las vigas se cruzan entre si, con base en la planta tipificada, deben descontarse los nudos donde las vigas se cruzan o se solapan en planta. Si tomamos **10 intersecciones estructurales principales** como criterio conservador:

$$V_{descuento} = 10(0.045)$$

$$V_{descuento} = 0.450\, m^3$$

$$V_{neto} = 8.406 - 0.450$$

$$\boxed{V_{neto} = 7.956\, m^3}$$

Con 5% de desperdicio:

$$V_{5\%} = 7.956(1.05)$$

$$\boxed{V_{5\%} = 8.354\, m^3}$$

Por lo tanto se obtiene las cantidades finales:

CONCEPTO	CANTIDAD NETA	CANTIDAD CON 5%
CONCRETO	**7.956 m³**	**8.354 m³**
Acero #4 longitudinal total en Kg	375.10 kg	393.85 kg
Varilla #4 longitudinal barra de 6 m	63 und	66 und
Acero #3 en Kg	286.55 kg	300.88 kg
Estribos #3 en Unidades de fleje	430 und	430 und
Acero total	**661.65 kg**	**694.73 kg**

Finalmente se deja una tabla final con las dimensiones de las vigas de cimentación diseñadas.

TIPO	UBICACIÓN	CANTIDAD	LONGITUD	SUPERIOR	INFERIOR	TRANSVERSAL	TRASLAPO	GANCHOS
VC-01	Viga perimetral larga	2 und	L = 9.00 m	2#4 superiores continuos	3#4 inferiores continuos	#3 c/10 en extremos y #3 c/15 en tramo central	1.00 m	0.30 m en ambos extremos
VC-02	Viga perimetral media	2 und	L = 8.30 m	2#4 superiores continuos	2#4 inferiores continuos	#3 c/10 en extremos y #3 c/15 en tramo central	1.00 m	0.30 m en ambos extremos
VC-03	Viga central del brete.	2 und	L = 6.87 m	2#4 superiores continuos	2#4 inferiores continuos	#3 c/10 en conexiones y #3 c/15 en tramo central	1.00 m	0.30 m en ambos extremos
VC-04	Viga corta de conexión	2 und	L = 1.83 m	2#4 superiores continuos	2#4 inferiores continuos	#3 c/10 en toda la longitud	No requiere	0.30 m en ambos extremos
VC-05	Viga diagonal de arriostramiento.	2 und	L = 2.02 m	2#4 superiores continuos	2#4 inferiores continuos	#3 c/15 en toda la longitud	No requiere	0.30 m en ambos extremos

9. OBSERVACIONES DE CONSTRUCCIÓN Y CONTROL

Para el desarrollo del proceso constructivo se recomienda las siguientes observaciones:

- Garantizar anclaje del acero longitudinal dentro de zapatas, dados o pedestales conectados.
- No permitir interrupción de las cuatro barras longitudinales continuas.
- Ubicar empalmes fuera de zonas de concentración de esfuerzos y con longitud de desarrollo reglamentaria.
- Verificar en obra el recubrimiento de 75 mm mediante separadores adecuados.
- Fundir sobre fondo limpio y estable; se recomienda solado de limpieza si el terreno natural presenta contaminación o irregularidad.
- La presente memoria no incorpora optimización ambiental o sostenibilidad por decisión de diseño.

10. REFERENCIA.

- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título A: Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título C: Concreto estructural.