

# Capítulo 5

## Placas de entrepiso en microconcreto fibro-reforzado

En este capítulo se estudia el uso de la aplicación de microconcreto fibro-reforzado en elemento horizontal de entrepiso como lo son las placas. Las placas de entrepiso, simplemente apoyadas, fueron diseñadas para un uso residencial en diferentes configuraciones y con diferentes composiciones de microconcreto fibro-reforzado, con la finalidad de identificar el compuesto con mejor comportamiento mecánico.

Para el diseño estructural de placas se utilizó microconcreto sin fibras, con fibras de vidrio y con las fibras vegetales que presentó mejores resultados, es decir, el que contiene fibras de fique, así como se describió en el capítulo 3 del presente libro. La Tabla 13 muestra las propiedades mecánicas de microconcretos utilizados.

**Tabla 13. Propiedades mecánicas de concretos utilizados para el diseño de placas**

Tipo de Concreto	MRC	GRC	FRC
$f'_c$ [MPa]	32.4	28.5	26.2
$F_{cr}$ [MPa]	3.53	13.79	12.58
$E_c$ [GPa]	15.49	17.59	13.8
$\rho_c$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2.16	2.04	2.11

Fuente: elaboración propia.

## Diseño de placas macizas en microconcreto reforzado y fibro-reforzado

Se diseñaron placas macizas simplemente apoyadas variando la longitud entre apoyos: 1 m, 3 m, 5 m, 7 m y 9 m. Para cada longitud se determinó el mayor momento y el mayor cortante, con los cuales se diseñó la flexión y cortante de las placas. Las ecuaciones utilizadas dependen del tipo de concreto que se esté utilizando en el diseño, es decir, las ecuaciones cambian un poco si se trata de concreto fibro-reforzado o si se trata de concreto convencional reforzado con acero.

- **Ecuaciones para diseño a flexión y cortante de placas en concreto convencional**

Ecuación de momento nominal requiere de una cuantía de acero:

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

La cuantía de acero se calcula con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2M_U}{0.85 \phi f'_c b d^2}} \right)$$

Siendo  $M_u$  el momento máximo presente en la placa. La ecuación de cortante en placas macizas se calcula con la siguiente ecuación:

$$\phi V_c = \phi 0.17 \sqrt{f'_c} b d$$

Para fines de comparación, se espera que la sección diseñada no falle por momento de agrietamiento, de tal forma que el momento de agrietamiento debe ser mayor que el momento máximo de la placa, es decir, se debe determinar el momento de agrietamiento con la siguiente ecuación:

$$M_{cr} = \frac{F_{cr} I}{C_t}$$

es la inercia de la sección transformada y  $C_t$  es la distancia entre el eje neutro y la fibra extrema de la zona de tracción. Dichos parámetros se calculan así:

$$C_t = h - C_c$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + (bh)(y_1)^2 + (n-1)A_s(y_2)^2$$

$$C_c = \frac{bh(h/2) + (n-1)A_s d}{bh + (n-1)A_s} \quad n = \frac{E_s}{E_c} \quad y_1 = |h/2 - C_c| \quad y_2 = |d - C_c|$$

- **Ecuaciones para diseño a flexión y cortante de placas en concreto reforzado con fibras de vidrio y fibras vegetales**

Se chequeará que el momento de agrietamiento sea mayor que el momento máximo en la placa, la ecuación de momento de agrietamiento es:

$$M_{cr} = \frac{F_{cr} b h^2}{6}$$

La ecuación de cortante en placas macizas se calcula con la siguiente ecuación:

$$\phi V_c = \phi 0.17 \sqrt{f'_c} b d$$

- **Chequeo de deflexión máxima para control de deformaciones en placas que están sujetas a elementos susceptibles a dañarse por deflexiones grandes**

Con el fin de garantizar un correcto funcionamiento de las diferentes placas diseñadas, la deflexión máxima calculada no podrá ser superior a  $L/500$ . La deflexión en placas simplemente apoyadas se calcula con la siguiente expresión:

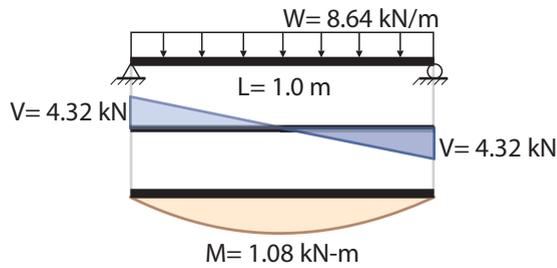
$$\Delta = \frac{5WL^4}{384EI} \leq \frac{L}{500}$$

La carga  $W$  para todos los casos será  $W = 1.2W_D + 1.6W_L$ .  $W_D$  es la carga muerta que incluye el peso propio de la placa y una carga sobrepuesta que se definió como  $3.6 \text{ kN/m}^2$  es la carga viva que corresponde al uso que tendrá la placa, si se asume un uso residencial donde la carga viva corresponde al peso de tráfico de personas  $W_L = 1.8 \text{ N/m}^2$ .

La Tabla 14 muestra los esfuerzos presentes en la placa maciza MRC por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 1 m. Los esfuerzos calculados fueron determinados por medio de procedimiento de equilibrio estática, por lo que se tuvo en cuenta la longitud entre apoyos de los elementos y la carga última de diseño.

**Tabla 14. Esfuerzos en placa maciza MRC de 1 m de longitud**

<b>Concreto</b>	MRC
<b>h [m] =</b>	0.050
<b>d [m] =</b>	0.025
<b>b [m] =</b>	1.0
<b>L [m] =</b>	1.0
<b>Pp [kN/m] =</b>	1.2
<b>W<sub>p</sub> [kN/m] =</b>	3.6
<b>W<sub>l</sub> [kN/m] =</b>	1.8
<b>W [kN/m] =</b>	8.64
<b>V [kN] =</b>	4.32
<b>M [kN-m] =</b>	1.08



Fuente: elaboración propia.

La Tabla 15 muestra el diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 1 m de longitud. Los cálculos muestran que la placa funciona con 5 cm de espesor, el refuerzo requerido es una malla electrosoldada XX-159 ( $\varnothing 5.5 \text{ mm C/150 mm}$ ), lo que genera un área de acero de  $1.59 \text{ cm}^2/\text{m}$ . El factor  $\phi$  determinado para este tipo de secciones es de 0.7, lo cual significa que, el máximo esfuerzo generado por las cargas alcanza un 70 % del esfuerzo resistente por la sección.

**Tabla 15. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 1 m de longitud**

<b>f'c [MPa] =</b>	32.4
<b>Fcr [MPa] =</b>	3.53
<b>Ec [GPa] =</b>	15.49
<b>Fy [MPa] =</b>	420
<b>Mu [kN-m] =</b>	1.08

<b>n =</b>	12.91
<b>Cc [m] =</b>	0.0250
<b>Ct [m] =</b>	0.0250
<b>y' [m] =</b>	0.000
<b>y<sup>2</sup> [m] =</b>	0.000

$\rho =$	0.00474		$I [mm^4] =$	0.000010	
$A_s =$	1.19		$M_{cr} [kN-m] =$	1.47	<b>Cumple</b>
$A_s (real) =$	1.59	Malla XX-159	$V_u [kN] =$	4.32	
$\rho (real) =$	0.00636		$\phi V_c [kN] =$	18.14	<b>Cumple</b>
$\phi =$	0.7		$\Delta [mm] =$	0.70	
$\phi M_n [kN-m] =$	1.43	<b>Cumple</b>	$\Delta_{m\acute{a}x.} [mm] =$	2	<b>Cumple</b>

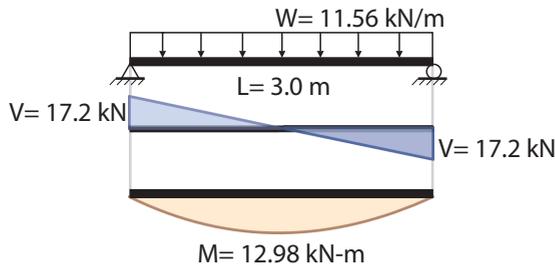
Fuente: elaboración propia.

En general, el diseño muestra la comparación entre las solicitaciones de carga y la resistencia del elemento. Se evidencia que el momento nominal y el momento de agrietamiento son mayores que el momento flector máximo en la placa. Del mismo modo, el cortante soportado por concreto y la rigidez del elemento es mayor que el cortante máximo de diseño y la rigidez máxima permitida, respectivamente.

La Tabla 16 muestra los esfuerzos presentes en la placa maciza MRC por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 3 m.

**Tabla 16. Esfuerzos en placa maciza MRC de 3 m de longitud**

<b>Concreto</b>	MRC
$h [m] =$	0.148
$d [m] =$	0.118
$b [m] =$	1.0
$L [m] =$	3.0
$P_p [kN/m] =$	3.552
$W_o [kN/m] =$	3.6
$W_l [kN/m] =$	1.8
$W [kN/m] =$	11.46
$V [kN] =$	17.19
$M [kN-m] =$	12.90



Fuente: elaboración propia.

La Tabla 17 muestra el diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 3 m de longitud. Los cálculos muestran que la placa funciona con 14.8 cm de espesor, el refuerzo requerido es una malla electrosoldada XX-295 ( $\varnothing 7.5$  mm C/150 mm) lo que genera un área de acero de 2.95 cm<sup>2</sup>/m. El factor  $\phi$  determinado para este tipo de secciones es de 0.9.

**Tabla 17. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 3 m de longitud**

<b>f'c [MPa] =</b>	32.4		<b>n =</b>	12.91	
<b>Fcr [MPa] =</b>	3.53		<b>Cc [m] =</b>	0.0750	
<b>Ec [GPa] =</b>	15.49		<b>Ct [m] =</b>	0.0730	
<b>Fy [MPa] =</b>	420		<b>y<sup>1</sup> [m] =</b>	0.001	
<b>Mu [kN-m] =</b>	12.9		<b>y<sup>2</sup> [m] =</b>	0.043	
<b>ρ =</b>	0.00250		<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	0.000277	
<b>As =</b>	2.95		<b>Mcr [kN-m] =</b>	13.39	<b>Cumple</b>
<b>As (real) =</b>	2.95	Malla XX-295	<b>Vu [kN] =</b>	17.19	
<b>ρ (real) =</b>	0.00250		<b>φVc [kN] =</b>	85.64	<b>Cumple</b>
<b>φ =</b>	0.90		<b>Δ [mm] =</b>	2.82	
<b>φMn [kN-m] =</b>	12.91	<b>Cumple</b>	<b>Δ<sub>máx.</sub> [mm] =</b>	3	<b>Cumple</b>

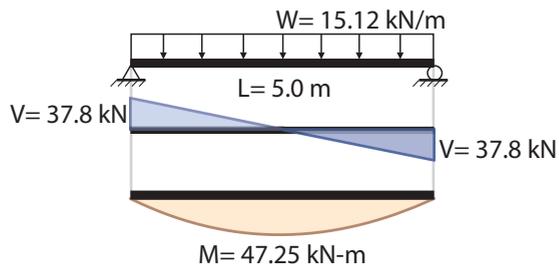
Fuente: elaboración propia.

El diseño presentado en la Tabla 17 muestra la comparación entre las solicitaciones de carga y la resistencia del elemento. Se evidencia que el momento nominal y el momento de agrietamiento son mayores que el momento flector máximo en la placa. Del mismo modo, el cortante soportado por concreto y la rigidez del elemento es mayor que el cortante máximo de diseño y la rigidez máxima permitida, respectivamente.

La Tabla 18 muestra los esfuerzos presentes en la placa maciza MRC por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 5 m.

**Tabla 18. Esfuerzos en placa maciza MRC de 5 m de longitud**

Concreto	MRC
<b>h [m] =</b>	0.275
<b>d [m] =</b>	0.245
<b>b [m] =</b>	1.0
<b>L [m] =</b>	5.0
<b>Pp [kN/m] =</b>	6.6
<b>W<sub>D</sub> [kN/m] =</b>	3.6
<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	1.8
<b>W [kN/m] =</b>	15.12
<b>V [kN] =</b>	37.80
<b>M [kN-m] =</b>	47.25



Fuente: elaboración propia.

La Tabla 19 muestra el diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 5 m de longitud. Los cálculos muestran que la placa funciona con 27.5 cm de espesor, el refuerzo requerido es una barra de acero #3 C/12 cm y transversal de #3 C/16 cm, lo que genera un área de acero de 5.92 cm<sup>2</sup>/m. El factor  $\phi$  determinado para este tipo de secciones es de 0.8.

**Tabla 19. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 5 m de longitud**

<b>f'c [MPa] =</b>	32.4		<b>n =</b>	12.91	
<b>Fcr [MPa] =</b>	3.53		<b>Cc [m] =</b>	0.1402	
<b>Ec [GPa] =</b>	15.49		<b>Ct [m] =</b>	0.1348	
<b>Fy [MPa] =</b>	420		<b>y<sup>1</sup> [m] =</b>	0.003	
<b>Mu [kN-m] =</b>	47.25		<b>y<sup>2</sup> [m] =</b>	0.105	
<b><math>\rho</math> =</b>	0.00212		<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	0.001813	
<b>As =</b>	5.19		<b>Mcr [kN-m] =</b>	47.46	<b>Cumple</b>
<b>As (real) =</b>	5.92	#3C/.12 m	<b>Vu [kN] =</b>	37.80	
<b><math>\rho</math> (real) =</b>	0.00242		<b><math>\phi Vc</math> [kN] =</b>	177.81	<b>Cumple</b>
<b><math>\phi</math> =</b>	0.80		<b><math>\Delta</math> [mm] =</b>	4.38	
<b><math>\phi Mn</math> [kN-m] =</b>	53.81	<b>Cumple</b>	<b><math>\Delta_{\text{máx.}}</math> [mm] =</b>	5	<b>Cumple</b>

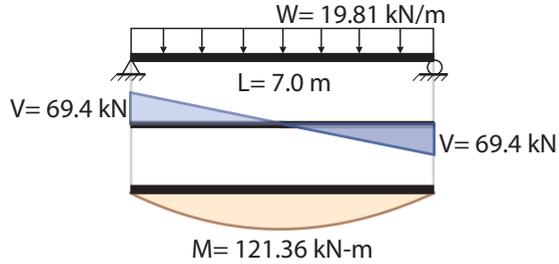
Fuente: elaboración propia.

Se evidencia que el momento nominal y el momento de agrietamiento son mayores que el momento flector máximo en la placa. Del mismo modo, el cortante soportado por concreto y la rigidez del elemento es mayor que el cortante máximo de diseño y la rigidez máxima permitida, respectivamente.

La Tabla 20 muestra los esfuerzos presentes en la placa maciza MRC por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 7 m.

**Tabla 20. Esfuerzos en placa maciza MRC de 7 m de longitud**

<b>Concreto</b>	MRC
<b>h [m] =</b>	<b>0.438</b>
<b>d [m] =</b>	<b>0.408</b>
<b>b [m] =</b>	<b>1.0</b>
<b>L [m] =</b>	<b>7.0</b>
<b>Pp [kN/m] =</b>	<b>10.512</b>
<b>W<sub>p</sub> [kN/m] =</b>	<b>3.6</b>
<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	<b>1.8</b>
<b>W [kN/m] =</b>	<b>19.81</b>
<b>V [kN] =</b>	<b>69.35</b>
<b>M [kN-m] =</b>	<b>121.36</b>



Fuente: elaboración propia.

La Tabla 21 muestra el diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 7 m de longitud. Los cálculos muestran que la placa funciona con 43.8 cm de espesor, el refuerzo requerido es una barra de acero #4 C/14 cm y transversal de #4 C/17 cm, lo que genera un área de acero de  $5.92 \text{ cm}^2/\text{m}$ . El factor  $\phi$  determinado para este tipo de secciones es de 0.78.

**Tabla 21. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 7 m de longitud**

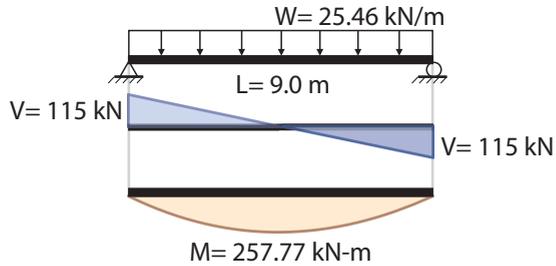
<b>f'c [MPa] =</b>	32.4		<b>n =</b>	12.91	
<b>Fcr [MPa] =</b>	3.53		<b>Cc [m] =</b>	0.2236	
<b>Ec [GPa] =</b>	15.49		<b>Ct [m] =</b>	0.2144	
<b>Fy [MPa] =</b>	420		<b>y<sup>1</sup> [m] =</b>	0.005	
<b>Mu [kN-m] =</b>	121.36		<b>y<sup>2</sup> [m] =</b>	0.184	
<b>ρ =</b>	0.00196		<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	0.007385	
<b>As =</b>	7.99		<b>Mcr [kN-m] =</b>	121.60	<b>Cumple</b>
<b>As (real) =</b>	9.21	#4C/.14 m	<b>Vu [kN] =</b>	69.35	
<b>ρ (real) =</b>	0.00226		<b>φVc [kN] =</b>	296.10	<b>Cumple</b>
<b>φ =</b>	0.78		<b>Δ [mm] =</b>	5.42	
<b>φMn [kN-m] =</b>	139.65	<b>Cumple</b>	<b>Δ<sub>máx.</sub> [mm] =</b>	7	<b>Cumple</b>

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 22 muestra los esfuerzos presentes en la placa maciza MRC por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 7 m.

**Tabla 22. Esfuerzos en placa maciza MRC de 9 m de longitud**

<b>Concreto</b>	MRC
<b>h [m] =</b>	0.634
<b>d [m] =</b>	0.604
<b>b [m] =</b>	1.0
<b>L [m] =</b>	9.0
<b>Pp [kN/m] =</b>	15.216
<b>W<sub>p</sub> [kN/m] =</b>	3.6
<b>W<sub>l</sub> [kN/m] =</b>	1.8
<b>W [kN/m] =</b>	25.46
<b>V [kN] =</b>	114.57
<b>M [kN-m] =</b>	257.77



Fuente: elaboración propia.

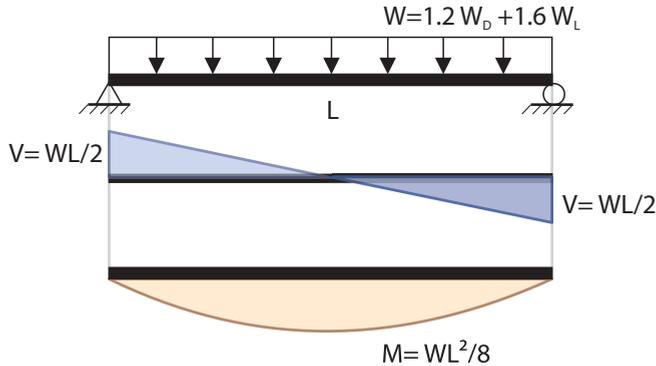
La Tabla 23 muestra el diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 7 m de longitud. Los cálculos muestran que la placa funciona con 43.8 cm de espesor, el refuerzo requerido es una barra de acero #4 C/14 cm y transversal de #4 C/17 cm, lo que genera un área de acero de 5.92 cm<sup>2</sup>/m. El factor  $\phi$  determinado para este tipo de secciones es de 0.72.

**Tabla 23. Diseño a flexión y cortante de placa maciza MRC de 9 m de longitud**

<b>f'c [MPa] =</b>	32.4		<b>n =</b>	12.91	
<b>Fcr [MPa] =</b>	3.53		<b>Cc [m] =</b>	0.3245	
<b>Ec [GPa] =</b>	15.49		<b>Ct [m] =</b>	0.3095	
<b>Fy [MPa] =</b>	420		<b>y' [m] =</b>	0.008	
<b>Mu [kN-m] =</b>	257.77		<b>y<sup>2</sup> [m] =</b>	0.279	
<b><math>\rho</math> =</b>	0.00190		<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	0.022606	
<b>As =</b>	11.46		<b>Mcr [kN-m] =</b>	257.86	<b>Cumple</b>
<b>As (real) =</b>	14.33	#4C/.14 m	<b>Vu [kN] =</b>	114.57	
<b><math>\rho</math> (real) =</b>	0.00237		<b><math>\phi Vc</math> [kN] =</b>	438.35	<b>Cumple</b>
<b><math>\phi</math> =</b>	0.72		<b><math>\Delta</math> [mm] =</b>	6.21	
<b><math>\phi Mn</math> [kN-m] =</b>	321.31	<b>Cumple</b>	<b><math>\Delta_{m\acute{a}x.}</math> [mm] =</b>	9	<b>Cumple</b>

Fuente: elaboración propia.

La Figura 54 muestra los diagramas de esfuerzos en placas macizas de GRC y FRC. Los esfuerzos calculados fueron determinados por medio de procedimiento de equilibrio estática, por lo que se tuvo en cuenta la longitud entre apoyos de los elementos y la carga última de diseño.

**Figura 54. Diagrama de cortante y momento en placa maciza de GRC y FRC**

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 24 muestra el diseño de placa maciza de 1 m de longitud en GRC y FRC. En primera instancia, es evidente mencionar que la placa maciza con GRC tiene menor espesor que la placa maciza de FRC, esto se debe a que la rigidez del GRC es mayor que la rigidez del FRC. La placa de GRC tiene 35 mm de espesor, lo cual lo hace una placa muy eficiente en términos estructurales, ya que tiene una dimensión pequeña, en comparación con los otros materiales y, además, tiene una resistencia a la flexión alta, lo cual se puede evidenciar debido a que los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 36 % del esfuerzo resistente por la sección, puesto que el diseño fue gobernado por la deflexión máxima de la estructura.

**Tabla 24. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 1 m de longitud**

Concreto	GRC		Concreto	FRC	
<b>Pp [kN/m] =</b>	0.714		<b>Pp [kN/m] =</b>	0.844	
<b>W<sub>D</sub> [kN/m] =</b>	3.6		<b>W<sub>D</sub> [kN/m] =</b>	3.6	
<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	1.8		<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	1.8	
<b>W [kN/m] =</b>	8.06		<b>W [kN/m] =</b>	8.21	
<b>Mu [kN-m] =</b>	1.01		<b>Mu [kN-m] =</b>	1.03	
<b>b [m] =</b>	1.0		<b>b [m] =</b>	1.0	
<b>h [m] =</b>	0.035		<b>h [m] =</b>	0.04	
<b>Ct [m] =</b>	0.0175		<b>Ct [m] =</b>	0.02	
<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	0.000004		<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	0.000005	
<b>Mcr [kN-m] =</b>	2.82	<b>Cumple</b>	<b>Mcr [kN-m] =</b>	3.35	<b>Cumple</b>
<b>φ =</b>	0.36		<b>φ =</b>	0.31	
<b>Vu [kN] =</b>	4.03		<b>Vu [kN] =</b>	4.11	

$\phi V_c$ [kN] =	23.82	<b>Cumple</b>	$\phi V_c$ [kN] =	26.10	<b>Cumple</b>
$\Delta$ [mm] =	1.67		$\Delta$ [mm] =	1.45	
$\Delta_{m\acute{a}x.}$ [mm] =	2	<b>Cumple</b>	$\Delta_{m\acute{a}x.}$ [mm] =	2	<b>Cumple</b>

Fuente: elaboración propia.

La placa de FRC tiene 40 mm de espesor, con un factor  $\phi$  de 0.31, lo cual indica que, los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 31 % del esfuerzo resistente por la sección. En comparación con la placa maciza de concreto reforzado con acero en las mismas condiciones, se puede definir que las placas macizas en concreto fibro-reforzado tienen mayor eficiencia; sin embargo, es de vital importancia estudiar la durabilidad del concreto para su vida útil.

**Tabla 25. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 3 m de longitud**

Concreto	GRC		Concreto	FRC	
$P_p$ [kN/m] =	2.1624		$P_p$ [kN/m] =	2.4476	
$W_d$ [kN/m] =	3.6		$W_d$ [kN/m] =	3.6	
$W_L$ [kN/m] =	1.8		$W_L$ [kN/m] =	1.8	
$W$ [kN/m] =	9.79		$W$ [kN/m] =	10.14	
$M_u$ [kN-m] =	11.02		$M_u$ [kN-m] =	11.40	
$b$ [m] =	1		$b$ [m] =	1	
$h$ [m] =	0.106		$h$ [m] =	0.12	
$C_t$ [m] =	0.053		$C_t$ [m] =	0.058	
$I$ [mm <sup>4</sup> ] =	0.000099		$I$ [mm <sup>4</sup> ] =	0.000130	
$M_{cr}$ [kN-m] =	25.82	<b>Cumple</b>	$M_{cr}$ [kN-m] =	28.21	<b>Cumple</b>
$\phi$ =	0.43		$\phi$ =	0.40	
$V_u$ [kN] =	14.69		$V_u$ [kN] =	15.21	
$\phi V_c$ [kN] =	72.15	<b>Cumple</b>	$\phi V_c$ [kN] =	75.70	<b>Cumple</b>
$\Delta$ [mm] =	5.92		$\Delta$ [mm] =	5.96	
$\Delta_{m\acute{a}x.}$ [mm] =	6	<b>Cumple</b>	$\Delta_{m\acute{a}x.}$ [mm] =	6	<b>Cumple</b>

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 25 muestra el diseño de placa maciza de 3 m de longitud en GRC y FRC. En primera instancia, es evidente mencionar que la placa maciza con GRC tiene menor espesor que la placa maciza de FRC, esto se debe a que la rigidez del GRC es mayor que la rigidez del FRC. La placa de GRC tiene 10.6 cm de espesor, lo cual lo hace una placa muy eficiente en términos estructurales, ya que tiene una dimensión pequeña en comparación con los otros

materiales y, además, tiene una resistencia a la flexión alta, lo cual se puede evidenciar debido a que los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 43 % del esfuerzo resistente por la sección, puesto que el diseño fue gobernado por la deflexión máxima de la estructura. Por otra parte, la placa de FRC tiene 12 cm de espesor con un factor  $\phi$  de 0.4, lo cual indica que los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 40 % del esfuerzo resistente por la sección. En comparación con la placa maciza de concreto reforzado con acero en las mismas condiciones, se puede definir que las placas macizas en concreto fibro-reforzado tienen mayor eficiencia; sin embargo, es de vital importancia estudiar la durabilidad del concreto para su vida útil.

**Tabla 26. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 5 m de longitud**

Concreto	GRC		Concreto	FRC	
<b>Pp [kN/m] =</b>	3.8148		<b>Pp [kN/m] =</b>	4.3677	
<b>W<sub>D</sub> [kN/m] =</b>	3.6		<b>W<sub>D</sub> [kN/m] =</b>	3.6	
<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	1.8		<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	1.8	
<b>W [kN/m] =</b>	11.78		<b>W [kN/m] =</b>	12.44	
<b>Mu [kN-m] =</b>	36.81		<b>Mu [kN-m] =</b>	38.88	
<b>b [m] =</b>	1		<b>b [m] =</b>	1	
<b>h [m] =</b>	0.187		<b>h [m] =</b>	0.21	
<b>Ct [m] =</b>	0.0935		<b>Ct [m] =</b>	0.1035	
<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	0.000545		<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	0.000739	
<b>Mcr [kN-m] =</b>	80.37	<b>Cumple</b>	<b>Mcr [kN-m] =</b>	89.84	<b>Cumple</b>
<b>φ =</b>	0.46		<b>φ =</b>	0.43	
<b>Vu [kN] =</b>	29.44		<b>Vu [kN] =</b>	31.10	
<b>φVc [kN] =</b>	127.28	<b>Cumple</b>	<b>φVc [kN] =</b>	135.09	<b>Cumple</b>
<b>Δ [mm] =</b>	10.00		<b>Δ [mm] =</b>	9.93	
<b>Δ<sub>máx.</sub> [mm] =</b>	10	<b>Cumple</b>	<b>Δ<sub>máx.</sub> [mm] =</b>	10	<b>Cumple</b>

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 26 muestra el diseño de placa maciza de 5 m de longitud en GRC y FRC. En primera instancia, es evidente mencionar que la placa maciza con GRC tiene menor espesor que la placa maciza de FRC, esto se debe a que la rigidez del GRC es mayor que la rigidez del FRC. La placa de GRC tiene 18.7 cm de espesor, lo cual lo hace una placa muy eficiente en términos estructurales, ya que tiene una dimensión pequeña en comparación con los otros materiales y, además, tiene una resistencia a la flexión alta, lo cual se puede evidenciar debido a que los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 46 % del esfuerzo resistente por la sección, puesto que el diseño fue gobernado por la deflexión máxima de la estructura. Por otra parte, la placa de FRC tiene 21 cm de espesor, con un factor  $\phi$  de 0.43, lo cual

indica que los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 43 % del esfuerzo resistente por la sección. En comparación con la placa maciza de concreto reforzado con acero en las mismas condiciones, se puede definir que las placas macizas en concreto fibro-reforzado tienen mayor eficiencia, sin embargo, es de vital importancia estudiar la durabilidad del concreto para su vida útil.

**Tabla 27. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 7 m de longitud**

Concreto	GRC		Concreto	FRC	
<b>Pp [kN/m] =</b>	5.6712		<b>Pp [kN/m] =</b>	6.4988	
<b>W<sub>D</sub> [kN/m] =</b>	3.6		<b>W<sub>D</sub> [kN/m] =</b>	3.6	
<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	1.8		<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	1.8	
<b>W [kN/m] =</b>	14.01		<b>W [kN/m] =</b>	15.00	
<b>Mu [kN-m] =</b>	85.78		<b>Mu [kN-m] =</b>	91.87	
<b>b [m] =</b>	1		<b>b [m] =</b>	1	
<b>h [m] =</b>	0.278		<b>h [m] =</b>	0.31	
<b>Ct [m] =</b>	0.139		<b>Ct [m] =</b>	0.154	
<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	0.001790		<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	0.002435	
<b>Mcr [kN-m] =</b>	177.62	<b>Cumple</b>	<b>Mcr [kN-m] =</b>	198.90	<b>Cumple</b>
<b>φ =</b>	0.48		<b>φ =</b>	0.46	
<b>Vu [kN] =</b>	49.02		<b>Vu [kN] =</b>	52.49	
<b>φVc [kN] =</b>	189.22	<b>Cumple</b>	<b>φVc [kN] =</b>	201.01	<b>Cumple</b>
<b>Δ [mm] =</b>	13.90		<b>Δ [mm] =</b>	13.96	
<b>Δ<sub>máx.</sub> [mm] =</b>	14	<b>Cumple</b>	<b>Δ<sub>máx.</sub> [mm] =</b>	14	<b>Cumple</b>

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 27 muestra el diseño de placa maciza de 7 m de longitud en GRC y FRC. En primera instancia, es evidente mencionar que la placa maciza con GRC tiene menor espesor que la placa maciza de FRC, esto se debe a que la rigidez del GRC es mayor que la rigidez del FRC. La placa de GRC tiene 27.8 cm de espesor, lo cual lo hace una placa muy eficiente en términos estructurales, ya que tiene una dimensión pequeña en comparación con los otros materiales y, además, tiene una resistencia a la flexión alta, lo cual se puede evidenciar debido a que los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 48 % del esfuerzo resistente por la sección, puesto que el diseño fue gobernado por la deflexión máxima de la estructura. Por otra parte, la placa de FRC tiene 31 cm de espesor, con un factor *phi* de 0.46, lo cual indica que los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 46 % del esfuerzo resistente por la sección. En comparación con la placa maciza de concreto reforzado con acero en las mismas condiciones, se puede definir que las placas macizas en concreto fibro-reforzado

tienen mayor eficiencia, sin embargo, es de vital importancia estudiar la durabilidad del concreto para su vida útil.

**Tabla 28. Diseño a flexión y cortante de placa maciza GRC y FRC de 9 m de longitud**

Concreto	GRC		Concreto	FRC	
<b>Pp [kN/m] =</b>	7.6704		<b>Pp [kN/m] =</b>	8.8409	
<b>W<sub>D</sub> [kN/m] =</b>	3.6		<b>W<sub>D</sub> [kN/m] =</b>	3.6	
<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	1.8		<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	1.8	
<b>W [kN/m] =</b>	16.40		<b>W [kN/m] =</b>	17.81	
<b>Mu [kN-m] =</b>	166.10		<b>Mu [kN-m] =</b>	180.32	
<b>b [m] =</b>	1		<b>b [m] =</b>	1	
<b>h [m] =</b>	0.376		<b>h [m] =</b>	0.42	
<b>Ct [m] =</b>	0.188		<b>Ct [m] =</b>	0.2095	
<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	0.004430		<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	0.006130	
<b>Mcr [kN-m] =</b>	324.93	<b>Cumple</b>	<b>Mcr [kN-m] =</b>	368.09	<b>Cumple</b>
<b>φ =</b>	0.51		<b>φ =</b>	0.49	
<b>Vu [kN] =</b>	73.82		<b>Vu [kN] =</b>	80.14	
<b>φVc [kN] =</b>	255.93	<b>Cumple</b>	<b>φVc [kN] =</b>	273.45	<b>Cumple</b>
<b>Δ [mm] =</b>	17.99		<b>Δ [mm] =</b>	17.98	
<b>Δ<sub>máx.</sub> [mm] =</b>	18	<b>Cumple</b>	<b>Δ<sub>máx.</sub> [mm] =</b>	18	<b>Cumple</b>

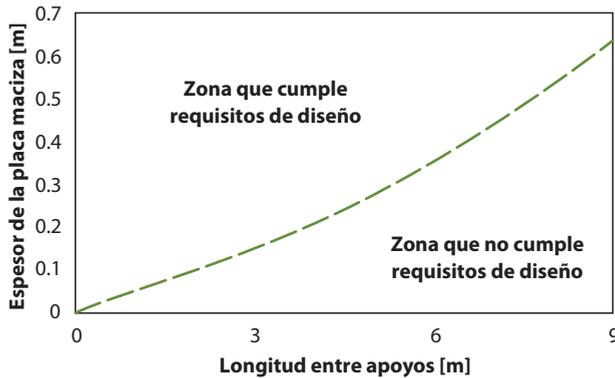
Fuente: elaboración propia.

La Tabla 28 muestra el diseño de placa maciza de 9 m de longitud en GRC y FRC. En primera instancia, es evidente mencionar que la placa maciza con GRC tiene menor espesor que la placa maciza de FRC, esto se debe a que la rigidez del GRC es mayor que la rigidez del FRC. La placa de GRC tiene 37.6 cm de espesor, lo cual lo hace una placa muy eficiente en términos estructurales, ya que tiene una dimensión pequeña, en comparación con los otros materiales y, además, tiene una resistencia a la flexión alta, lo cual se puede evidenciar debido a que los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 51 % del esfuerzo resistente por la sección, puesto que el diseño fue gobernado por la deflexión máxima de la estructura. Por otra parte, la placa de FRC tiene 42 cm de espesor, con un factor  $\phi$  de 0.49, lo cual indica que los esfuerzos solicitados por las cargas representan un 49 % del esfuerzo resistente por la sección. En comparación con la placa maciza de concreto reforzado con acero en las mismas condiciones, se puede definir que las placas macizas en concreto fibro-reforzado tienen mayor eficiencia, sin embargo, es de vital importancia estudiar la durabilidad del concreto para su vida útil.

Se realizaron curvas de tendencia de diseño con el fin de relacionar la longitud entre apoyos para sistemas de placas simplemente apoyadas con el espesor de la placa. La Figura 55

muestra una curva con tendencia lineal que divide en dos partes las zonas de diseño, es decir, bajo la curva los espesores de placa no cumplen con alguna de las condiciones de diseño: chequeo de momento, cortante o máxima deflexión; mientras que los espesores calculados sobre la curva de diseño sí cumplirían con todas las condiciones de diseño para elementos sometidos a esfuerzos de flexión y cortante. Se debe destacar que para tener un tamaño óptimo de la sección, es decir, una sección que cumpla con requisitos de diseño, pero sin generar sobrecostos por sobredimensionamiento de la estructura, se recomienda utilizar los espesores que sean calculados al cruzarse con la curva de diseño.

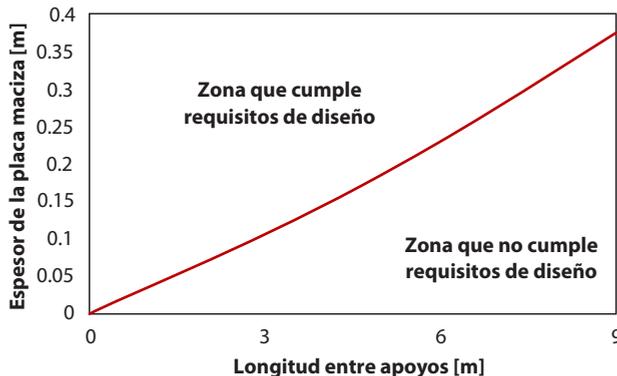
**Figura 55. Curva para determinar altura de placa maciza en MRC según su longitud**



Fuente: elaboración propia.

Al igual que lo mostrado en la Figura 55, la Figura 56 muestra una curva de diseño con dos zonas, una que cumple con requisitos de diseño y la otra que no lo hace. La principal diferencia entre las dos figuras mencionadas es que la primera (Figura 55) muestra el diseño para placas simplemente apoyadas fabricadas con concreto convencional reforzado con acero, mientras que la segunda (Figura 56) muestra el diseño para placas simplemente apoyadas fabricadas con concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio tipo AR.

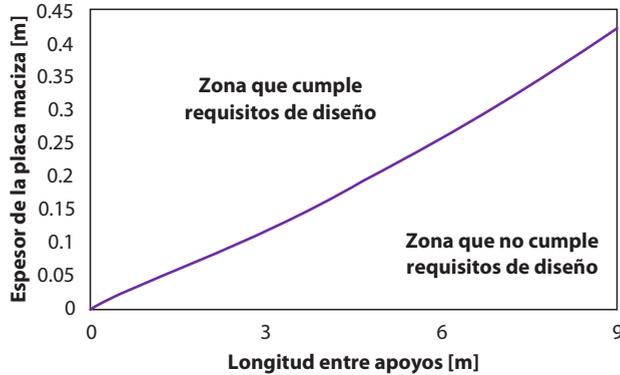
**Figura 56. Curva para determinar altura de placa maciza en GRC según su longitud**



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, la Figura 57 muestra la curva de diseño para para placas simplemente apoyadas fabricadas con concreto fibro-reforzado con fibras vegetales, que para el caso se trató de fibras de fique.

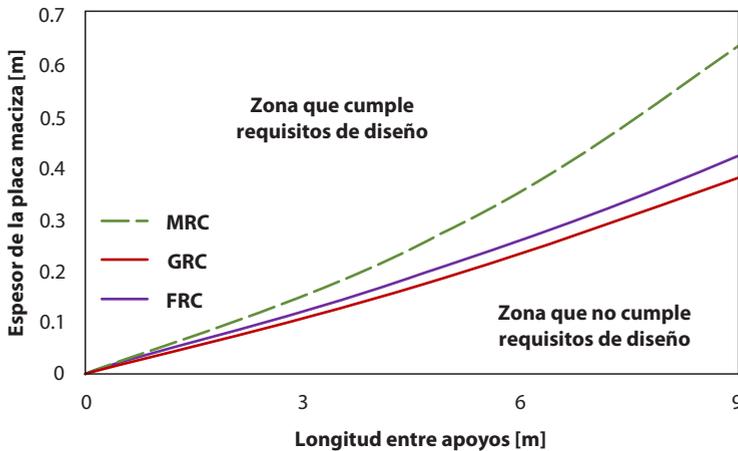
**Figura 57. Curva para determinar altura de placa maciza en FRC según su longitud**



Fuente: elaboración propia.

Se realiza una comparación entre las tres curvas de tendencia de diseño de placas simplemente apoyadas con diferentes tipos de concreto (Figura 58). Los resultados muestran que el concreto convencional es el más desfavorable, puesto que se requiere de espesores de placa mayores para cumplir con los requisitos de diseño, siendo las placas de concreto fibro-reforzado con fibras de vidrio las que requieren de espesores menores.

**Figura 58. Comparación de curvas de diseño MRC, GRC y FRC**



Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, es de apreciarse que los volúmenes de concreto son relativamente grandes, sobre todo en placas con longitudes entre ejes mayores a 5 metros. Por tal motivo, se realiza el diseño de las mismas placas con sistema de losa aligerada o nervada en una dirección.

## Diseño de placas aligeradas con vigueta de concreto reforzado y loseta en microconcreto reforzado y fibro-reforzado

Se diseñan placas aligeradas considerando la siguiente configuración: viguetas de concreto reforzado convencional ( $f'_c = 28$  MPa) y losetas de concreto MRC, GRC y FRC. Se determinan las curvas de diseño variando su longitud entre ejes de apoyos de 0 hasta 9 m.

- **Ecuaciones para diseño a flexión y cortante de viguetas en concreto reforzado**

La ecuación de momento nominal (requiere de una cuantía de acero), es:

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

La cuantía de acero se calcula con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{F_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2M_U}{0.85 \phi f'_c b d^2}} \right)$$

Siendo  $M_U$  el momento máximo presente en la vigueta.

La ecuación de cortante en placas macizas se calcula con la siguiente ecuación:

$$\phi V_c = \phi 0.17 \sqrt{f'_c} b d + \frac{\phi A_v F_y d}{S}$$

- **Chequeo de deflexión máxima para control de deformaciones en placas que están sujetas a elementos susceptibles a dañarse por deflexiones grandes**

Con el fin de garantizar un correcto funcionamiento de las diferentes placas diseñadas, la deflexión máxima calculada no podrá ser superior a  $L/500$ . La deflexión en placas simplemente apoyadas se calcula con la siguiente expresión:

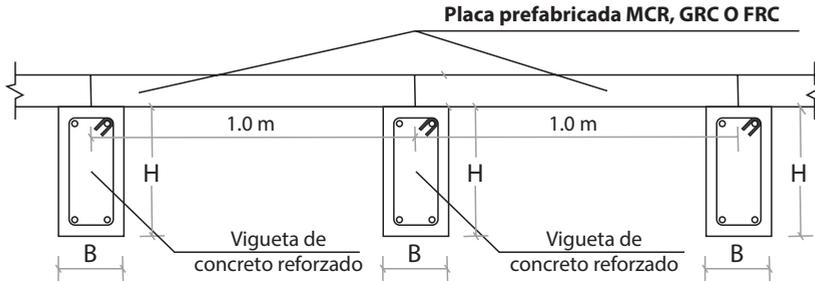
$$\Delta = \frac{5WL^4}{384EI} \leq \frac{L}{500}$$

La carga  $W$  para todos los casos será  $W = 1.2 W_D + 1.6 W_L$ .  $W_D$  es la carga muerta que incluye el peso propio de la placa y una carga sobrepuesta que se definió como  $3.6 \text{ kN/m}^2$ .  $W_L$  es la carga viva que corresponde al uso que tendrá la placa, si se asume un uso residencial donde la carga viva corresponde al peso de tráfico de personas  $W_L = 1.8 \text{ kN/m}^2$ .

Para fines prácticos de comparación, se realizará el diseño de la loseta con 1 m de longitud, es decir, la separación entre las viguetas será de un metro (1 m). Se pretende que la propuesta

sea con placas prefabricadas, por lo que no se requerirá de aligeramientos para el montaje del sistema de placa, es decir, la propuesta mostrará como proceso de construcción la elaboración de las viguetas en el sitio y las placas será prefabricadas y serán puestas sobre las viguetas una vez hayan alcanzado al menos el 75 % de la resistencia máxima. La Figura 59 muestra la configuración de la sección tipo de placa aligerada con viguetas de concreto reforzado y loseta superior de concreto MRC, GRC o FRC.

**Figura 59. Sección tipo de placa aligerada**

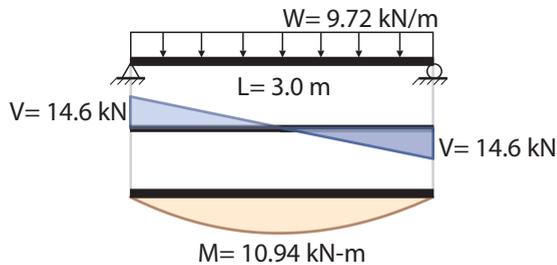


Fuente: elaboración propia.

La Tabla 29 muestra los esfuerzos presentes sobre la vigueta por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 3 m.

**Tabla 29. Esfuerzos sobre la vigueta de 3 m de longitud**

<b>Concreto</b>	VTA
<b>h [m] =</b>	0.25
<b>d [m] =</b>	0.22
<b>b [m] =</b>	0.15
<b>L [m] =</b>	3.0
<b>P<sub>placa</sub> [kN/m] =</b>	1.2
<b>P<sub>p</sub> [kN/m] =</b>	0.9
<b>W<sub>o</sub> [kN/m] =</b>	3.6
<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	1.8
<b>W [kN/m] =</b>	9.72
<b>V [kN] =</b>	14.58
<b>M [kN-m] =</b>	10.94



Fuente: elaboración propia.

La Tabla 30 muestra el diseño a flexión y cortante de la vigueta de 3 m de longitud. Los cálculos muestran que la sección de la vigueta es de 15 x 25 cm, el refuerzo requerido equivale a dos barras de acero #3 y transversal de E#3 C/30 cm, lo que genera un área de acero de 1.42 cm<sup>2</sup>. El factor  $\phi$  determinado para este tipo de secciones es de 0.87.

**Tabla 30. Diseño a flexión y cortante de vigueta de 3 m de longitud**

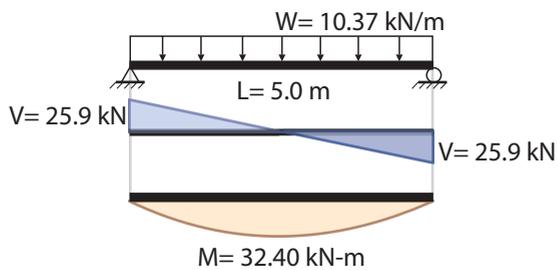
<b>f'c [MPa] =</b>	28		<b>n =</b>	8.04	
<b>Fcr [MPa] =</b>	3.28		<b>Cc [m] =</b>	0.1275	
<b>Ec [GPa] =</b>	24.87		<b>Ct [m] =</b>	0.002	
<b>Fy [MPa] =</b>	420		<b>y' [m] =</b>	0.093	
<b>Mu [kN-m] =</b>	10.94		<b>y² [m] =</b>	0.000204	
<b>ρ =</b>	0.00414		<b>I [mm4] =</b>	14.58	
<b>As =</b>	1.36		<b>Mcr [kN-m] =</b>	7.10E-05	E#3 C/30 cm
<b>As (real) =</b>	1.42	2#3	<b>Vu [kN] =</b>	0.3	
<b>ρ (real) =</b>	0.00430		<b>ϕVc [kN] =</b>	55.07	<b>Cumple</b>
<b>ϕ =</b>	0.87		<b>Δ [mm] =</b>	2.02	
<b>ϕMn [kN-m] =</b>	11.36	<b>Cumple</b>	<b>Δ<sub>máx.</sub> [mm] =</b>	6	<b>Cumple</b>

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 31 muestra los esfuerzos presentes sobre la vigueta por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 5 m.

**Tabla 31. Esfuerzos sobre la vigueta de 5 m de longitud**

<b>Concreto</b>	VTA
<b>h [m] =</b>	0.4
<b>d [m] =</b>	0.37
<b>b [m] =</b>	0.15
<b>L [m] =</b>	3.0
<b>P<sub>placa</sub> [kN/m] =</b>	1.2
<b>Pp [kN/m] =</b>	1.44
<b>W<sub>p</sub> [kN/m] =</b>	3.6
<b>W<sub>l</sub> [kN/m] =</b>	1.8
<b>W [kN/m] =</b>	10.37
<b>V [kN] =</b>	25.92
<b>M [kN-m] =</b>	32.40



Fuente: elaboración propia.

La Tabla 32 muestra el diseño a flexión y cortante de la vigueta de 5 m de longitud. Los cálculos muestran que la sección de la vigueta es de 15 x 40 cm, el refuerzo requerido equivale a dos barras de acero #4 y transversal de E#3 C/30 cm, lo que genera un área de acero de 2.58 cm<sup>2</sup>. El factor ϕ determinado para este tipo de secciones es de 0.84.

**Tabla 32. Diseño a flexión y cortante de vigueta de 5 m de longitud**

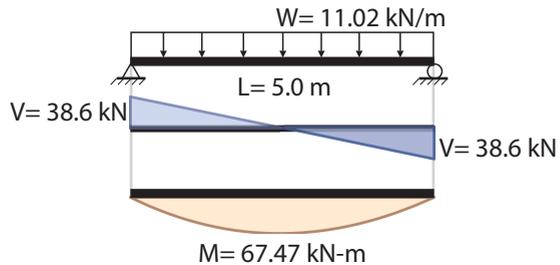
<b>f'c [MPa] =</b>	28		<b>n =</b>	8.04	
<b>Fcr [MPa] =</b>	3.28		<b>Cc [m] =</b>	0.2050	
<b>Ec [GPa] =</b>	24.87		<b>Ct [m] =</b>	0.005	
<b>Fy [MPa] =</b>	420		<b>y<sup>1</sup> [m] =</b>	0.165	
<b>Mu [kN-m] =</b>	32.40		<b>y<sup>2</sup> [m] =</b>	0.000851	
<b>ρ =</b>	0.00434		<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	25.92	
<b>As =</b>	2.41		<b>Mcr [kN-m] =</b>	7.10E-05	E#3 C/30 cm
<b>As (real) =</b>	2.58	2#4	<b>Vu [kN] =</b>	0.3	
<b>ρ (real) =</b>	0.00465		<b>φVc [kN] =</b>	92.61	<b>Cumple</b>
<b>φ =</b>	0.84		<b>Δ [mm] =</b>	3.99	
<b>φMn [kN-m] =</b>	34.60	<b>Cumple</b>	<b>Δ<sub>máx.</sub> [mm] =</b>	10	<b>Cumple</b>

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 33 muestra los esfuerzos presentes sobre la vigueta por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 7 m, los esfuerzos calculados fueron determinados por medio de procedimiento de equilibrio estática, por lo que se tuvo en cuenta la longitud entre apoyos de los elementos y la carga última de diseño.

**Tabla 33. Esfuerzos sobre la vigueta de 7 m de longitud**

<b>Concreto</b>	VTA
<b>h [m] =</b>	0.55
<b>d [m] =</b>	0.52
<b>b [m] =</b>	0.15
<b>L [m] =</b>	7.0
<b>P<sub>placa</sub> [kN/m] =</b>	1.2
<b>Pp [kN/m] =</b>	1.98
<b>W<sub>D</sub> [kN/m] =</b>	3.6
<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	1.8
<b>W [kN/m] =</b>	11.02
<b>V [kN] =</b>	38.56
<b>M [kN-m] =</b>	67.47



Fuente: elaboración propia.

La Tabla 34 muestra el diseño a flexión y cortante de la vigueta de 7 m de longitud. Los cálculos muestran que la sección de la vigueta es de 15 x 55 cm, el refuerzo requerido

equivale a dos barras de acero #5 y transversal de E#3 C/30 cm, lo que genera un área de acero de 3.98 cm<sup>2</sup>. El factor  $\phi$  determinado para este tipo de secciones es de 0.81.

**Tabla 34. Diseño a flexión y cortante de vigueta de 7 m de longitud**

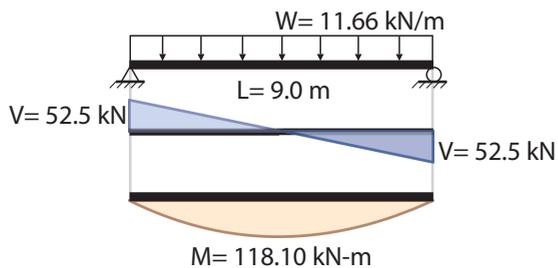
<b>f'c [MPa] =</b>	28		<b>n =</b>	8.04	
<b>Fcr [MPa] =</b>	3.28		<b>Cc [m] =</b>	0.2830	
<b>Ec [GPa] =</b>	24.87		<b>Ct [m] =</b>	0.008	
<b>Fy [MPa] =</b>	420		<b>y' [m] =</b>	0.237	
<b>Mu [kN-m] =</b>	67.47		<b>y<sup>2</sup> [m] =</b>	0.002242	
<b><math>\rho</math> =</b>	0.00459		<b>I [mm<sup>4</sup>] =</b>	38.56	
<b>As =</b>	3.58	2#5	<b>Mcr [kN-m] =</b>	7.10E-05	E#3 C/30 cm
<b>As (real) =</b>	3.98		<b>Vu [kN] =</b>	0.3	
<b><math>\rho</math> (real) =</b>	0.00510		<b><math>\phi Vc</math> [kN] =</b>	130.16	<b>Cumple</b>
<b><math>\phi</math> =</b>	0.81		<b><math>\Delta</math> [mm] =</b>	6.18	
<b><math>\phi Mn</math> [kN-m] =</b>	74.70	<b>Cumple</b>	<b><math>\Delta_{m\acute{a}x.}</math> [mm] =</b>	14	<b>Cumple</b>

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 35 muestra los esfuerzos presentes sobre la vigueta por efecto de las cargas vivas y muertas aplicadas. La longitud entre ejes de apoyos de la placa es de 9 m, los esfuerzos calculados fueron determinados por medio de procedimiento de equilibrio estática, por lo que se tuvo en cuenta la longitud entre apoyos de los elementos y la carga última de diseño.

**Tabla 35. Esfuerzos sobre la vigueta de 9 m de longitud**

<b>Concreto</b>	VTA
<b>h [m] =</b>	0.7
<b>d [m] =</b>	0.67
<b>b [m] =</b>	0.15
<b>L [m] =</b>	9.0
<b>P<sub>placa</sub> [kN/m] =</b>	1.2
<b>Pp [kN/m] =</b>	2.52
<b>W<sub>D</sub> [kN/m] =</b>	3.6
<b>W<sub>L</sub> [kN/m] =</b>	1.8
<b>W [kN/m] =</b>	11.66
<b>V [kN] =</b>	52.49
<b>M [kN-m] =</b>	118.10



Fuente: elaboración propia.

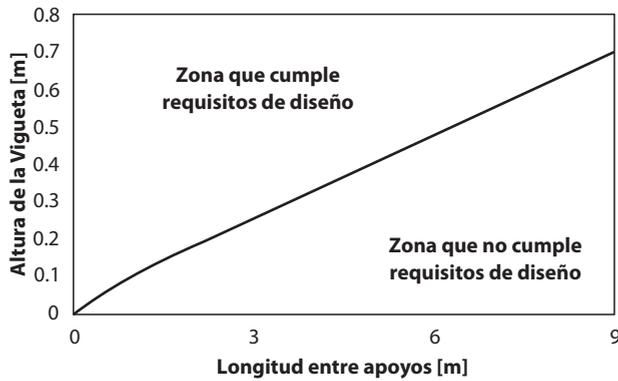
La Tabla 36 muestra el diseño a flexión y cortante de la vigueta de 9 m de longitud. Los cálculos muestran que la sección de la vigueta es de 15 x 70 cm, el refuerzo requerido equivale a dos barras de acero #6 y transversal de E#3 C/30 cm, lo que genera un área de acero de 5.74 cm<sup>2</sup>. El factor  $\phi$  determinado para este tipo de secciones es de 0.77.

**Tabla 36. Diseño a flexión y cortante de vigueta de 9 m de longitud**

<b>f'c [MPa] =</b>	28		<b>n =</b>	8.04	
<b>Fcr [MPa] =</b>	3.28		<b>Cc [m] =</b>	0.2830	
<b>Ec [GPa] =</b>	24.87		<b>Ct [m] =</b>	0.008	
<b>Fy [MPa] =</b>	420		<b>y' [m] =</b>	0.237	
<b>Mu [kN-m] =</b>	118.10		<b>y² [m] =</b>	0.002242	
<b><math>\rho</math> =</b>	0.00485		<b>I [mm4] =</b>	38.56	
<b>As =</b>	4.87		<b>Mcr [kN-m] =</b>	7.10E-05	E#3 C/30 cm
<b>As (real) =</b>	5.74	Malla XX-159	<b>Vu [kN] =</b>	0.3	
<b><math>\rho</math> (real) =</b>	0.00571		<b><math>\phi Vc</math> [kN] =</b>	130.16	<b>Cumple</b>
<b><math>\phi</math> =</b>	0.77		<b><math>\Delta</math> [mm] =</b>	6.18	
<b><math>\phi Mn</math> [kN-m] =</b>	138.02	<b>Cumple</b>	<b><math>\Delta_{m\acute{a}x.}</math> [mm] =</b>	14	<b>Cumple</b>

Fuente: elaboración propia.

Se realizó la curva de tendencia de diseño con el fin de relacionar la longitud entre apoyos para sistemas de placas simplemente apoyadas con la altura de la vigueta requerida para soportar las losetas de concreto prefabricado MRC, GRC o FRC. La Figura 60 muestra una curva con tendencia lineal que divide en dos partes las zonas de diseño, es decir, bajo la curva los espesores de placa no cumplen con alguna de las condiciones de diseño: chequeo de momento, cortante o máxima deflexión; mientras que los espesores calculados sobre la curva de diseño si cumplirían con todas las condiciones de diseño para elementos sometidos a esfuerzos de flexión y cortante.

**Figura 60. Curva de tendencia para dimensionamiento de vigueta**

Fuente: elaboración propia.

Se debe destacar que para tener un tamaño óptimo de la sección, se recomienda utilizar los espesores que sean calculados al cruzarse con la curva de diseño. Además, con el fin de estandarizar la sección, se definió como base 15 cm; sin embargo, se puede hacer el estudio de diseño con un área equivalente de la sección.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que en este caso se está definiendo una sección tipo de vigueta en concreto reforzado; sin embargo, cabe la posibilidad de modificar el material de la vigueta, es decir, puede hacerse un estudio simplificado en el cual se utilicen viguetas metálicas o de madera que resistan las solitudes de esfuerzos debido a las cargas para cada caso en particular. Ahora bien, el estudio de la placa aligerada realizado en este apartado se realizó con las condiciones similares a las utilizadas para el diseño de las placas macizas, lo cual se hizo con el fin de poder realizar comparaciones, por lo que se puede tener en cuenta que las condiciones de las viguetas se pueden modificar y así mismo la placa prefabricada de MRC, GRC o FRC no cambiarían.

## **Comparación entre microconcreto reforzado y fibro-reforzado con fibras**

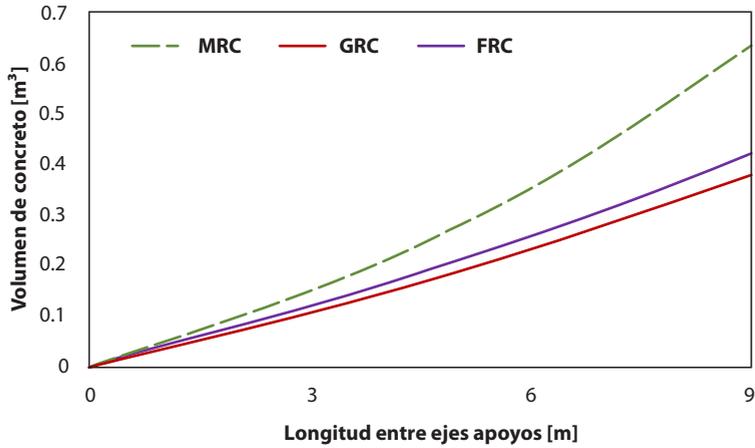
Se realizó el cálculo de las cantidades de materiales requeridas para la fabricación de placas macizas de MRC, GRC y FRC según sus necesidades de diseño. Además, se calculó las cantidades de materiales para el sistema de placas aligeradas con nervaduras de concreto reforzado y losetas de MRC, GRC y FRC según sus necesidades de diseño. La Tabla 37 muestra el volumen de concreto para cada una de las placas macizas diseñadas con longitud variable entre 0 y 9 m de MRC, GRC y FRC.

**Tabla 37. Volumen de concreto para placas macizas**

Placas macizas		h [m]	Vol [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
1 m	MRC	0.05	0.05
	GRC	0.035	0.035
	FRC	0.04	0.04
3 m	MRC	0.148	0.148
	GRC	0.106	0.106
	FRC	0.116	0.116
5 m	MRC	0.275	0.275
	GRC	0.187	0.187
	FRC	0.207	0.207
7 m	MRC	0.438	0.438
	GRC	0.278	0.278
	FRC	0.308	0.308
9 m	MRC	0.634	0.634
	GRC	0.376	0.376
	FRC	0.419	0.419

Fuente: elaboración propia.

La Figura 61 muestra tres curvas de tendencia de la cantidad de concreto que se requiere en volumen para la fabricación de placas macizas según el tipo de refuerzo: acero, fibras de vidrio o fibras vegetales. Se evidencia que las placas de concreto MRC requieren de mayor tamaño y, por lo tanto, un mayor volumen de concreto, mientras que las placas macizas de concreto GRC requieren menores cantidades de concreto.

**Figura 61. Cantidad de concreto en volumen según tipo de refuerzo**

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 38 muestra la cantidad de refuerzo (acero, fibras de vidrio y fibras vegetales) que se requiere para la construcción de placas macizas según su longitud.

**Tabla 38. Cantidad de acero y fibras de refuerzo para placas macizas**

Placas macizas		As (X)	As (Y)	As [kg/m <sup>2</sup> ]		Fibra Vidrio [kg/m <sup>2</sup> ]	Fibra Vegetal [kg/m <sup>2</sup> ]
1 m	MRC	XX-159		2.52			
	GRC					2.14	
	FRC						0.63
3 m	MRC	XX-295		4.67			
	GRC					6.49	
	FRC						1.84
5 m	MRC	#3C/.12 m	#3C/.16 m	5.23	4.06	18.57	
	GRC					11.44	
	FRC						3.28

Placas macizas		As (X)	As (Y)	As [kg/m <sup>2</sup> ]		As [kg/m <sup>2</sup> ]	Fibra Vidrio [kg/m <sup>2</sup> ]	Fibra Vegetal [kg/m <sup>2</sup> ]
7 m	MRC	#4C/.14 m	#4C/.17 m	8.09	6.84	29.87		
	GRC						17.01	
	FRC							4.87
9 m	MRC	#4C/.09 m	#4C/.11 m	12.04	10.03	44.14		
	GRC						23.01	
	FRC							6.63

Fuente: elaboración propia.

Se evidencia que la cantidad de acero en peso es la mayor para todos los tipos de placas, mientras que la cantidad de fibras vegetales en peso es la que requiere menor cantidad; sin embargo, debido a que el peso del acero, en comparación con el peso de las fibras, es mucho mayor, el volumen de refuerzo de acero requerido es menor que el volumen de refuerzo de fibras vegetales, del cual se requiere una cantidad similar al de las fibras de vidrio.

La Tabla 39 y la Tabla 40 muestran la cantidad de material de concreto en volumen y la cantidad de refuerzo en peso, respectivamente, requerido para la elaboración de losetas prefabricadas que serán utilizadas en los sistemas de placas aligeradas con nervaduras de concreto reforzado y losetas de MRC, GRC y FRC.

**Tabla 39. Volumen de concreto para losetas de placa aligerada**

Placa aligerada		h [m]	Vol [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
1 m	MRC	0.05	0.05
	GRC	0.035	0.035
	FRC	0.04	0.04

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 40. Cantidad de acero y fibras de refuerzo para losetas de placa aligerada**

Placa aligerada		As (X)	As (Y)	As [kg/m <sup>2</sup> ]		Fibra vidrio	Fibra vegetal
1 m	MRC	XX-159		2.52	2.52		
	GRC					2.14	
	FRC						0.63

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la Tabla 41 muestra el volumen de concreto para construir las diferentes viguetas de concreto reforzado al variar su longitud.

**Tabla 41. Volumen de concreto para viguetas de placa aligerada**

Placa aligerada	b [m]	h [m]	Vol [m <sup>3</sup> ]
VTA 3 m	0.15	0.25	0.0375
VTA 5 m	0.15	0.40	0.06
VTA 7 m	0.15	0.55	0.0825
VTA 9 m	0.15	0.70	0.105

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, la Tabla 42 muestra la cantidad de acero de refuerzo requerido para cada vigueta diseñada según su longitud.

**Tabla 42. Cantidad de acero y fibras de refuerzo para viguetas de placa aligerada**

Placa aligerada	As (Pricp)	As (Secund)	As [kg/m <sup>2</sup> ]		As [kg/m <sup>2</sup> ]
VTA 3 m	2#3	E#3 C/30 cm	2.24	1.82	4.06
VTA 5 m	2#4	E#3 C/30 cm	3.98	2.55	6.52
VTA 7 m	2#5	E#3 C/30 cm	6.21	3.28	9.48
VTA 9 m	2#6	E#3 C/30 cm	8.94	4.00	12.94

Fuente: elaboración propia.