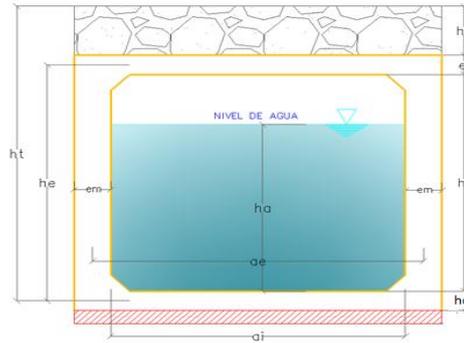


## DISEÑO DE ALCANTARILLA MCA 3x3 (Hr=1)



### 1. DATOS DE DISEÑO

#### MATERIALES:

Resistencia del Concreto ( $f'c$ ):	28 Mpa
Esfuerzo de fluencia ( $f_y$ ):	4200 kg/cm <sup>2</sup>
Peso unitario del concreto:	24 kn/m <sup>3</sup>
Peso específico del relleno:	18 kn/m <sup>3</sup>
Angulo de fricción interna del relleno ( $\phi$ ):	30
Peso específico del agua:	10 kn/m <sup>3</sup>
Peso específico del asfalto:	22.5 kn/m <sup>3</sup>
Esfuerzo admisible del terreno:	1.93 Kg/cm <sup>2</sup>

### 1. CARACTERISTICAS GEOMÉTRICAS DE LA SECCIÓN

Altura de relleno ( $hr$ ):	1 m
Espesor de la losa ( $el$ ):	0.3 m
Altura interna ( $hi$ ):	3.00 m
Espesor del muro ( $em$ ):	0.3 m
Altura de cimentación ( $hc$ ):	0.3 m
Altura entre ejes de losa ( $he$ ):	3.3 m
Altura de alcantarilla del eje de losa inferior al nivel de relleno ( $ht$ ):	4.45 m
Altura de agua ( $ha$ ):	2.25 m
Ancho interior ( $ai$ ):	3.00 m
Ancho entre ejes de muros ( $ae$ ):	3.3 m
Espesor del pavimento ( $ep$ ):	0.075 m

### 2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

#### \* ESTADOS LÍMITES

Diseño por factores de carga y resistencia, AASHTO LRFD 1.3.2.1-1

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r$$

- Factor de modificación de carga ( $\eta_i$ ) para un valor máximo de  $\gamma_i$ , AASHTO LRFD 1.3.2.1-2

$$\eta_i = \eta_D \eta_E \eta_I \eta_T \geq 0,95$$

Factor modificador	Servicio	Resistencia	Fatiga
Ductilidad $\eta_D$	1	0.95	1
Redundancia $\eta_E$	1	1	1
Importancia operativa (Puentes poca importancia) $\eta_I$	1	1	1
Importancia operativa (Puentes importantes) $\eta_T$	1	1.05	1

- Factor de resistencia, AASHTO LRFD 5.5.4.2.1

Factor de resistencia	$\phi$
Flexión y tracción del concreto armado	0.9
Flexión y tracción del concreto pretensado	1.00
Corte y torsión	
Concreto de densidad normal	0.90
Concreto de baja densidad	0.70



- Factores de carga para la sollicitación mayorada AASHTO LRFD Tabla 3.4.1-1 y Tabla 3.4.1-2

COMBINACIONES Y FACTORES DE CARGA			
Combinación	Servicio	Resistencia I (máx)	Resistencia I (mín)
DC: Peso propio permanente	1.00	1.25	0.90
DW: Superficie de rodadura	1.00	1.50	0.65
EV: Carga de tierra vertical	1.00	1.30	0.90
WA: Carga hidrostática	1.00	1.00	1.00
EH: Empuje lateral de suelo	1.00	1.35	0.90
ES: Empuje por sobrecarga de suelo	1.00	1.50	0.75
LS: Empuje por sobrecarga vehicular	1.00	1.75	0.00
LL+IM: Sobrecarga vehicular	1.00	1.75	0.00

### 3. CARGAS SOBRE LA ALCANTARILLA (En un metro de ancho)

#### 3.1. Presión vertical, Carga de suelo total no mayorada

Para instalaciones bajo terraplén, AASHTO LRFD 12.11.2.2.1-1 y 12.11.2.2.1-2

$$W_E = g F_v \gamma_s B_c H \times 10^{-9}$$

donde:

$$F_v = 1 + 0.20 \frac{H}{B_c}$$

F<sub>v</sub> ≤ 1.15, para instalaciones con relleno compactado a lo largo de los laterales de la sección tipo cajón.  
F<sub>v</sub> ≤ 1.40, para instalaciones con relleno no compactado a lo largo de los laterales de la sección tipo cajón.

$$F_e = 1.06$$

Presión vertical en la parte superior de la alcantarilla:

$$EV = 19.00 \text{ Kn/m}^2$$

#### 3.2. Presión horizontal del terreno (EH = p), AASHTO LRFD 3.11.5.1-1 y 3.11.5.2-1

$$p = k \gamma_s g z (\times 10^{-9})$$

$$k_o = 1 - \sin \phi'_r$$

$$K_o = 0.50$$

$$\text{Presión lateral del terreno en la parte sup: } 10.35 \text{ Kn/m}^2$$

$$\text{Presión lateral del terreno en la parte inf: } 40.05 \text{ Kn/m}^2$$

#### 3.3. de Agua (WA):

Cuando la alcantarilla esta colmada, la presión de agua es cero.

Cuando existe agua a un nivel determinado en el interior de la alcantarilla, la presión lateral es:

$$WA = 22.50 \text{ Kn/m}^2$$

#### 3.4. Sobrecarga vehicular (LL+IM):

- El factor de carga dinámica (IM) para el caso de elementos enterrados, AASHTO LRFD 3.6.2.2

$$IM = 33 (1.0 - 4.1 \times 10^{-4} D_E) \geq 0\%$$

Donde DE = hr

$$IM = 19.47 \%$$

- El area de contacto de los neumaticos de una rueda compuesta por uno o dos neumáticos se debera considerar como un unico rectangulo de 510 mm de ancho y 250 mm de longitud

- Distribución de las cargas de rueda a través de suelos de relleno, AASHTO LRFD 3.6.1.2.6

Area de contacto en dirección longitudinal y transversal para una linea de ruedas para alturas de relleno mayores a 0.60m

$$a = 0.25 + 1.15 * hr = 1.40 \text{ m}$$

$$b = 0.51 + 1.15 * hr = 1.66 \text{ m}$$

#### 3.4.1. Sobrecarga vehicular debido al camión de diseño

\* Carga distribuida, para un solo carril

Area de contacto para el area mas cargada.

$$A = 0.25 + 1.15 * hr = 1.40 \text{ m}$$

$$B = 2.31 + 1.15 * hr = 3.45 \text{ m}$$



Tener en cuenta la altura de relleno no mayor que 2.40, caso contrario no se considerara sobrecarga vehicular (AASHTO LRFD 3.6.1.2.6)

Con el factor de presencia multiple se tiene:

$$m=1.20$$
$$SC=145*m*IM/(A*B): 43.04 \text{ kn/m}^2$$

**\* Carga distribuida, para dos carriles**

$$A=0.25+1.15*hr: 1.40 \text{ m}$$
$$B=5.31+1.15*hr: 6.46 \text{ m}$$

Con el factor de presencia multiple se tiene:

$$m=1.00$$
$$SC=2*145*m*IM/(A*B): 38.31 \text{ kn/m}^2$$

### 3.4.2. Sobrecarga vehicular debido al tandem de diseño

#### 3.4.2.1. Para un solo carril

$$m=1.20$$
$$A=1.45+1.15*hr: 2.60 \text{ m}$$
$$B=2.31+1.15*hr: 3.46 \text{ m}$$
$$SC=2*110*m*IM/(A*B): 35.06 \text{ kn/m}^2$$

#### 3.4.2.2. Para dos carriles

$$m=1.00$$
$$A=1.45+1.15*hr: 2.60 \text{ m}$$
$$B=5.31+1.15*hr: 6.46 \text{ m}$$
$$SC=2*110*m*IM/(A*B): 31.30 \text{ kn/m}^2$$

### 3.5. Superficie de rodadura (DW)

$$\text{Asfalto: } 1.688 \text{ Kn/m}$$

### 3.6. Empuje Equivalente de Suelo por Sobrecarga Vehicular (LS):

Empuje Equivalente de Suelo, Distribución rectangular:

$$LS=K_o*Y_s*heq:$$
$$ht: 4.45$$
$$heq: 0.755$$
$$LS: 6.795 \text{ Kn/m}$$

### 4.0 RIGIDEZ VERTICAL DEL RESORTE

$$\text{Esfuerzo Admisible del Terrero: } 1.93 \text{ Kg/cm}^2$$
$$K_b: 38740 \text{ Kn/m}^3$$
$$N_{seg}: 10$$
$$L_{seg}: 0.33 \text{ m}$$
$$A: 1 \text{ m}$$
$$K_{ri}: 12784.2 \text{ Kn/m}$$
$$K_{re}: 6392.1 \text{ Kn/m}$$

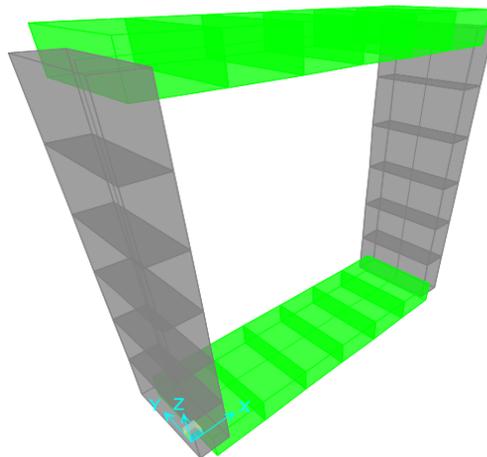
### 5.0 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE ALCANTARILLA

Combinaciones de Carga:

$$E1: 1.25DC+1.50DW+1.30EV+0.90EH+1.00WA+1.75LL+1.75LS$$

$$E2: 1.25DC+1.50DW+1.30EV+1.35EH+1.75LL+1.75LS$$

$$E3: 0.9DC+0.65DW+0.90EV+1.35EH+1.75LL+IM+1.75LS$$

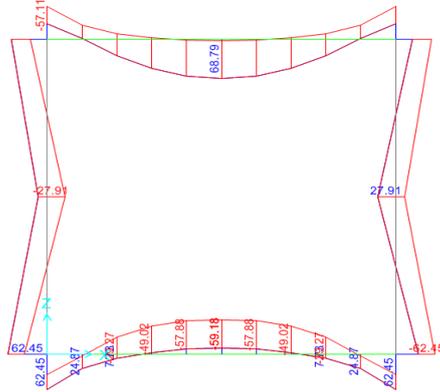


Modelo en el SAP 2000



### 6.0. DISEÑO POR FLEXIÓN

Se realizó un modelo matemático en el SAP 2000 para la representación de la alcantarilla sometida a los esfuerzos actuantes para un metro lineal. En el siguiente gráfico se puede visualizar el momento flector.



*Diagrama de Momento Flector*

Mu(+) Losa superior=	68.79 Kn-m
Mu(-) Losa superior=	57.11 Kn-m
Mu(+) Pared Lateral=	62.45 Kn-m
Mu(-) Pared Lateral=	27.91 Kn-m
Mu(+) Losa inferior=	62.45 Kn-m
Mu(-) Losa inferior=	59.18 Kn-m

### 6.1. Cálculo del Refuerzo en la losa:

#### 6.1.1. Cálculo del Refuerzo positivo- cara superior:

##### Momento Mínimo:

a) $1.2M_{cr}=1.2f_r*S$	
$f_r=0.97\text{raiz}(f'c)$ :	5.13 Mpa
$S=bh^2/6$ :	0.02 m <sup>3</sup>
$1.2M_{cr}$ :	92.39 Kn-m
b) $4/3*Mu$	
$Mu$ :	68.79 Kn-m
$4/3*Mu$ :	91.72 Kn-m
M mínimo:	91.72 Kn-m

##### Cálculo del refuerzo:

$M_{u \text{ diseño}} =$	91.72 Kn-m	Máx. ( $M_u$ , $M_{mínimo}$ )
$M_{u \text{ diseño}} =$	9.17 T-m	
$F'_c$ :	280 Kg/cm <sup>2</sup>	
$F_y$ :	4200 Kg/cm <sup>2</sup>	
Usando:		
$\phi$	5/8"	
Diámetro:	1.59 cm	
Area:	1.98 cm <sup>2</sup>	
r:	3 cm	
$e_{losa}$ :	0.30 m	
z:	3.80 cm	
d=	26.21 cm	
As:	$M_u/0.9f_y(d-a/2)$	
a:	0.18 As	
a:	1.69 cm	
As:	9.57 cm <sup>2</sup>	

**A1: 5/8" @ 0.2m    As Colocado: 9.90 cm<sup>2</sup>    OK !!!**

#### 6.1.2. Cálculo de Armadura de Distribución:

LRFD 9.7.3.2 (La armadura de distribución paralela al tráfico)

$1750/\text{raiz}(S) < 50\%$ :	30.46	<	50 %
% Repartición:	30.46		
As repartición:	2.91 cm <sup>2</sup>		
$\phi$	3/8"		
Diámetro:	0.95 cm		
Área:	0.71 cm <sup>2</sup>		
<b>A2: 3/8" @ 0.2m    As Colocado: 3.55 cm<sup>2</sup>    OK !!!</b>			

#### 6.1.3. Cálculo del Refuerzo negativo- cara inferior:

##### Momento Mínimo:

a) $1.2M_{cr}=1.2f_r*S$	
$f_r=0.97\text{raiz}(f'c)$ :	5.13 Mpa
$1.2M_{cr}$ :	92.39 Kn-m
b) $4/3*Mu$	



Mu:	57.11 Kn-m
4/3*Mu:	76.14 Kn-m
M mínimo:	76.14 Kn-m

**Cálculo del refuerzo:**

$M_{u \text{ diseño}} =$	76.14 Kn-m	Máx. ( Mu, Mmínimo)
$M_{u \text{ diseño}} =$	7.61 T-m	
$F'_c:$	280 Kg/cm <sup>2</sup>	
$F_y:$	4200 Kg/cm <sup>2</sup>	
Usando:		
$\phi$	1/2"	
Diámetro:	1.27 cm	
Área:	1.27 cm <sup>2</sup>	
r:	3.00 cm	
$e_{\text{losa}}:$	0.30 m	
z:	3.64 cm	
d=	26.37 cm	
As:	$Mu/0.9fy(d-a/2)$	
a:	0.18 As	
a:	1.38 cm	
As:	7.85 cm <sup>2</sup>	
<b>A3: 1/2" @ 0.15m</b>	<b>As Colocado: 8.47 cm<sup>2</sup></b>	<b>OK !!!</b>

**6.1.5. Cálculo del Acero de Temperatura:**

b=	3600 mm	
h=	300 mm	
As:	0.25 mm <sup>2</sup> /mm	
0.233	$\leq As \leq$	1.27
As:	2.33 cm <sup>2</sup> /m	
$\phi$	3/8"	
Diámetro:	0.95 cm	
Área:	0.71 cm <sup>2</sup>	
<b>A4: 3/8" @ 0.25m</b>	<b>As Colocado: 2.84 cm<sup>2</sup></b>	<b>OK !!!</b>

**6.2. Cálculo de Refuerzo en Paredes Laterales****6.2.1. Cálculo del Refuerzo Positivo-Cara Interior:****Momento Mínimo:**

a) $1.2M_{cr} = 1.2f_r * S$	
$f_r = 0.97 \text{raiz}(f'_c):$	5.13 Mpa
$S = bh^2/6:$	0.02 m <sup>3</sup>
1.2Mcr:	92.39 Kn-m
b) $4/3 * Mu$	
Mu:	62.45 Kn-m
4/3*Mu:	83.26 Kn-m
M mínimo:	83.26 Kn-m

**Cálculo del refuerzo:**

$M_{u \text{ diseño}} =$	83.26 Kn-m	
$M_{u \text{ diseño}} =$	8.33 T-m	
$F'_c:$	280 Kg/cm <sup>2</sup>	
$F_y:$	4200 Kg/cm <sup>2</sup>	
Usando:		
$\phi$	5/8"	
Diámetro:	1.59 cm	
Área:	1.98 cm <sup>2</sup>	
r:	3.00 cm	
$e_{\text{pared}}:$	0.30 m	
z:	3.80 cm	
d=	26.21 cm	
As:	$Mu/0.9fy(d-a/2)$	
a:	0.18 As	
a:	1.53 cm	
As:	8.66 cm <sup>2</sup>	
<b>L1: 5/8" @ 0.2m</b>	<b>As Colocado: 9.90 cm<sup>2</sup></b>	<b>OK !!!</b>

**6.2.2. Cálculo del Refuerzo Negativo-Cara Exterior:****Momento Mínimo:**

a) $1.2M_{cr} = 1.2f_r * S$	
$f_r = 0.97 \text{raiz}(f'_c):$	5.13 Mpa
$S = bh^2/6:$	0.02 m <sup>3</sup>
1.2Mcr:	92.39 Kn-m
b) $4/3 * Mu$	
Mu:	27.91 Kn-m
4/3*Mu:	37.21 Kn-m
M mínimo:	37.21 Kn-m

**Cálculo del refuerzo:**

$M_{u \text{ diseño}} =$	37.21 Kn-m	Máx. ( $M_u$ , Mmínimo)
$M_{u \text{ diseño}} =$	3.72 T-m	
$F'_c:$	280 Kg/cm <sup>2</sup>	
$F_y:$	4200 Kg/cm <sup>2</sup>	
Usando:		
$\phi$	1/2"	
Diámetro:	1.27 cm	
Área:	1.27 cm <sup>2</sup>	
r:	3.00 cm	
$e_{\text{pared}}:$	0.30 m	
z:	3.64 cm	
d=	26.37 cm	
As:	$M_u/0.9f_y(d-a/2)$	
a:	0.18 As	
a:	0.67 cm	
As:	3.78 cm <sup>2</sup>	
	<b>L2: 1/2" @ 0.25m</b>	<b>As Colocado: 5.08 cm<sup>2</sup> OK !!!</b>

**6.2.3. Acero de Refuerzo Transversal:**

h=	3600 mm	
b=	300 mm	
As:	0.25 mm <sup>2</sup> /mm	
0.233	$\leq As \leq$	1.27
As:	2.33 cm <sup>2</sup> /m	
$\phi$	3/8"	
Diámetro:	0.95 cm	
Área:	0.71 cm <sup>2</sup>	
	<b>L3: 3/8" @ 0.25m</b>	<b>As Colocado: 2.84 cm<sup>2</sup> OK !!!</b>

**6.3. Cálculo de Refuerzo en Cimentación:****6.3.1. Refuerzo Negativo- Cara Superior****Momento Mínimo:**

a) $1.2M_{cr} = 1.2f_r * S$	
$f_r = 0.97 \text{raiz}(f'_c):$	5.13 Mpa
$S = bh^2/6:$	0.02 m <sup>3</sup>
1.2Mcr:	92.39 Kn-m
b) $4/3 * M_u$	
$M_u:$	59.18 Kn-m
$4/3 * M_u:$	78.90 Kn-m
M mínimo:	78.90 Kn-m

**Cálculo del refuerzo:**

$M_{u \text{ diseño}} =$	78.90 Kn-m	Máx. ( $M_u$ , Mmínimo)
$M_{u \text{ diseño}} =$	7.89 T-m	
$F'_c:$	280 Kg/cm <sup>2</sup>	
$F_y:$	4200 Kg/cm <sup>2</sup>	
Usando:		
$\phi$	1/2"	
Diámetro:	1.27 cm	
Area:	1.27 cm <sup>2</sup>	
r:	3.00 cm	
$e_{\text{losa inferior}}:$	0.30 m	
z:	3.64 cm	
d=	26.37 cm	
As:	$M_u/0.9f_y(d-a/2)$	
a:	0.18 As	
a:	1.44 cm	
As:	8.14 cm <sup>2</sup>	
	<b>B1: 1/2" @ 0.15m</b>	<b>As Colocado: 8.47 cm<sup>2</sup> OK !!!</b>

**6.3.2. Refuerzo Positivo- Cara Inferior****Momento Mínimo:**

a) $1.2M_{cr} = 1.2f_r * S$	
$f_r = 0.97 \text{raiz}(f'_c):$	5.13 Mpa
$S = bh^2/6:$	0.02 m <sup>3</sup>
1.2Mcr:	92.39 Kn-m
b) $4/3 * M_u$	
$M_u:$	62.45 Kn-m
$4/3 * M_u:$	83.26 Kn-m
M mínimo:	83.26 Kn-m



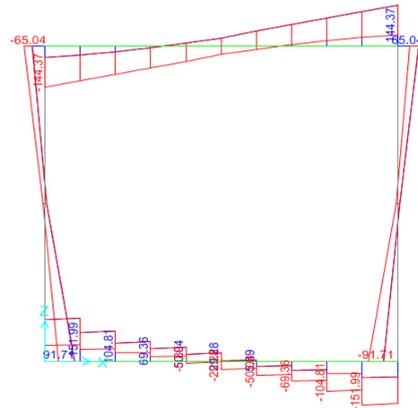
**Cálculo del refuerzo:**

$M_{u \text{ diseño}} =$	83.26 Kn-m	Máx. ( $M_u$ , Mmínimo)
$M_{u \text{ diseño}} =$	8.33 T-m	
$F'_c:$	280 Kg/cm <sup>2</sup>	
$F_v:$	4200 Kg/cm <sup>2</sup>	
Usando:		
$\phi$	5/8"	
Diámetro:	1.59 cm	
Área:	1.98 cm <sup>2</sup>	
r:	3.00 cm	
$e_{\text{losa inferior}}:$	0.30 m	
z:	3.80 cm	
d=	26.21 cm	
As:	$M_u/0.9f_y(d-a/2)$	
a:	0.18 As	
a:	1.53 cm	
As:	8.66 cm <sup>2</sup>	
	<b>B2: 5/8" @ 0.2m</b>	<b>As Colocado: 9.90 cm<sup>2</sup> OK !!!</b>

**6.3.3. Acero de Refuerzo Transversal:**

h=	3600 mm	
b=	300 mm	
As:	0.25 mm <sup>2</sup> /mm	
0.233	$\leq As \leq$	1.27
As:	2.33 cm <sup>2</sup> /m	
$\phi$	3/8"	
Diámetro:	0.95 cm	
Área:	0.71 cm <sup>2</sup>	
s:	0.30 m	
	<b>B3: 3/8" @ 0.25m</b>	<b>As Colocado: 2.84 cm<sup>2</sup> OK !!!</b>

**7. VERIFICACIÓN POR CORTANTE**



*Diagrama de Fuerza Cortante*

Vu (Losa) en la cara:	134.012 Kn
Vu(pared lateral) en la cara:	83.759 Kn
Vu(cimentación) en la cara:	151.99 Kn

**7.1. Verificación por fuerza cortante en la losa superior**

$V_u = 134.012 \text{ Kn}$

$$V_c = \left( 0.178 \sqrt{f'_c} + 32 \frac{A_s V_u d_e}{b d_e M_u} \right) b d_e \quad (5.14.5.3-1)$$

Para alcantarillas Tipo Cajón de una sola Celda:

$V_c \geq 0.25 \text{raiz}(f'_c) b d_e$  AASHTO LRFD 5.14.5.3

En conclusión se tiene:

$V_c = 0.178 * \text{raiz}(f'_c) b * d_e \geq 0.25 f'_c * b d_e$

de=	252.55 mm	
b=	1000.00 mm	
$F'_c:$	28 Mpa	
Vc=	334092.25 N	
Vc=	334.09 Kn	
$\phi V_c:$	300.68 Kn	$\geq 134.01 \text{ Kn}$
Losa pasa por cortante!		



### 7.2. Verificación por Fuerza Cortante en las Paredes Laterales

AASHTO LRFD 5.8.3.3

$$\begin{aligned} V_u &= 83.759 \text{ Kn} \\ V_c &= 0.083 \beta \text{raiz}(f_c) * b_v * d_v \\ \text{El } d_v &\text{ es el mayor de } 0.72h \text{ y } 0.9d_e \\ 0.72h &: 216.00 \text{ mm} \\ 0.9d_e &: 235.85 \text{ mm} \\ \text{Donde } d_v &: 235.85 \text{ mm} \\ b &= 1000.00 \text{ mm} \\ F'_c &: 28 \text{ Mpa} \\ V_c &= 0.083 \beta \text{raiz}(f_c) * b_v * d_v = 207163.76 \text{ N} \quad \beta : 2 \\ V_c &: 211.18 \text{ Kn} \\ \phi V_c &: 190.06 \text{ Kn} \geq 83.76 \text{ Kn} \end{aligned}$$

Pared lateral pasa por cortante!

### 7.3. Verificación por Fuerza Cortante de losa de cimentación

$$\begin{aligned} V_u &= 151.99 \text{ Kn} \\ \text{Para alcantarillas Tipo Cajón de una sola Celda:} \\ V_c &\geq 0.25 \text{raiz}(f_c) b d_e \quad \text{AASHTO LRFD 5.14.5.3} \end{aligned}$$

En conclusión se tiene:

$$\begin{aligned} V_c &= 0.178 * \text{raiz}(f_c) b * d_e \geq 0.25 f'_c * b d_e \\ d_e &= 254.15 \text{ mm} \\ b &= 1000.00 \text{ mm} \\ F'_c &= 28 \text{ Mpa} \\ V_c &= 336208.85 \text{ N} \\ V_c &= 336.21 \text{ Kn} \\ \phi V_c &: 302.59 \text{ Kn} \geq 151.99 \text{ Kn} \end{aligned}$$

Losa de cimentación pasa por cortante!

### 8. DISTRIBUCIÓN POR ARMADURA

