



# ASIGNATURA : DISEÑO DE PUENTES BOX CULVERT

DOCENTE:

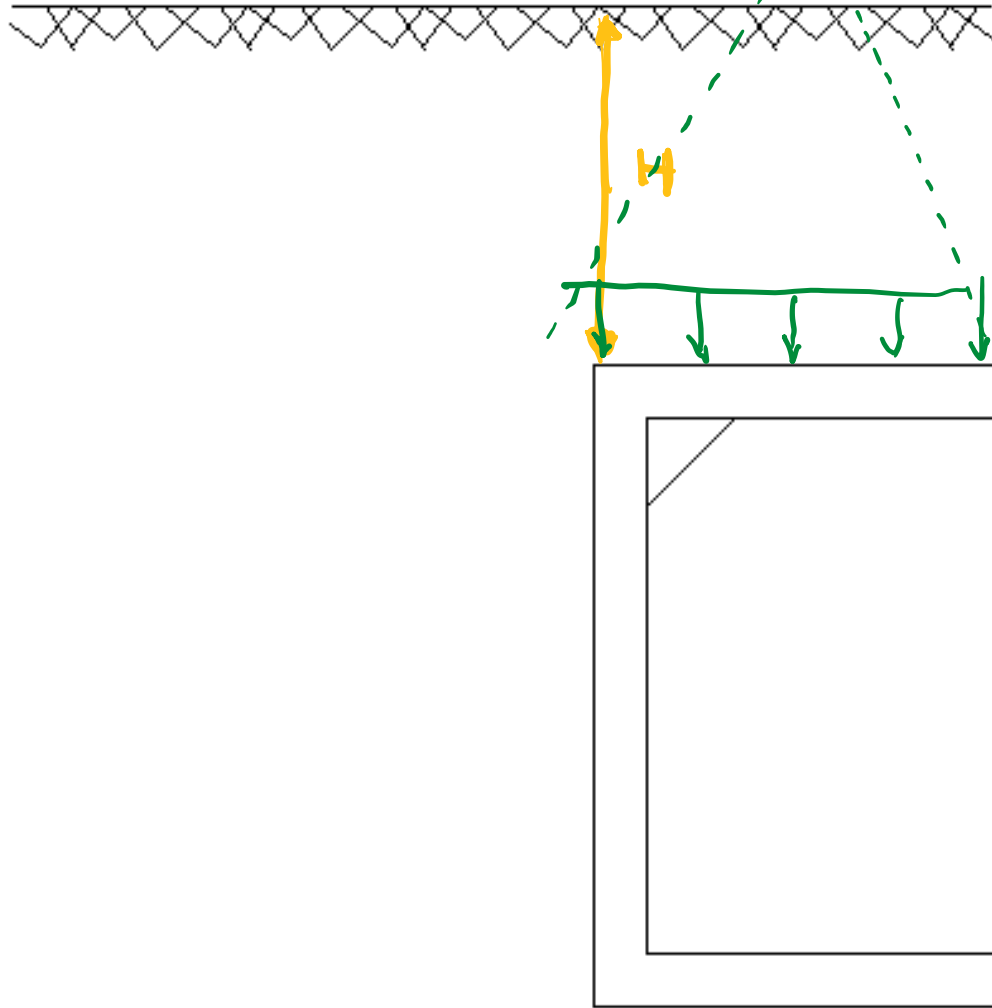
GUSTAVO ARIEL CHANG NIETO

ING. CIVIL, MSC ESTRUCTURAS

# BOX CULVERT



Situación 1



Situación 2

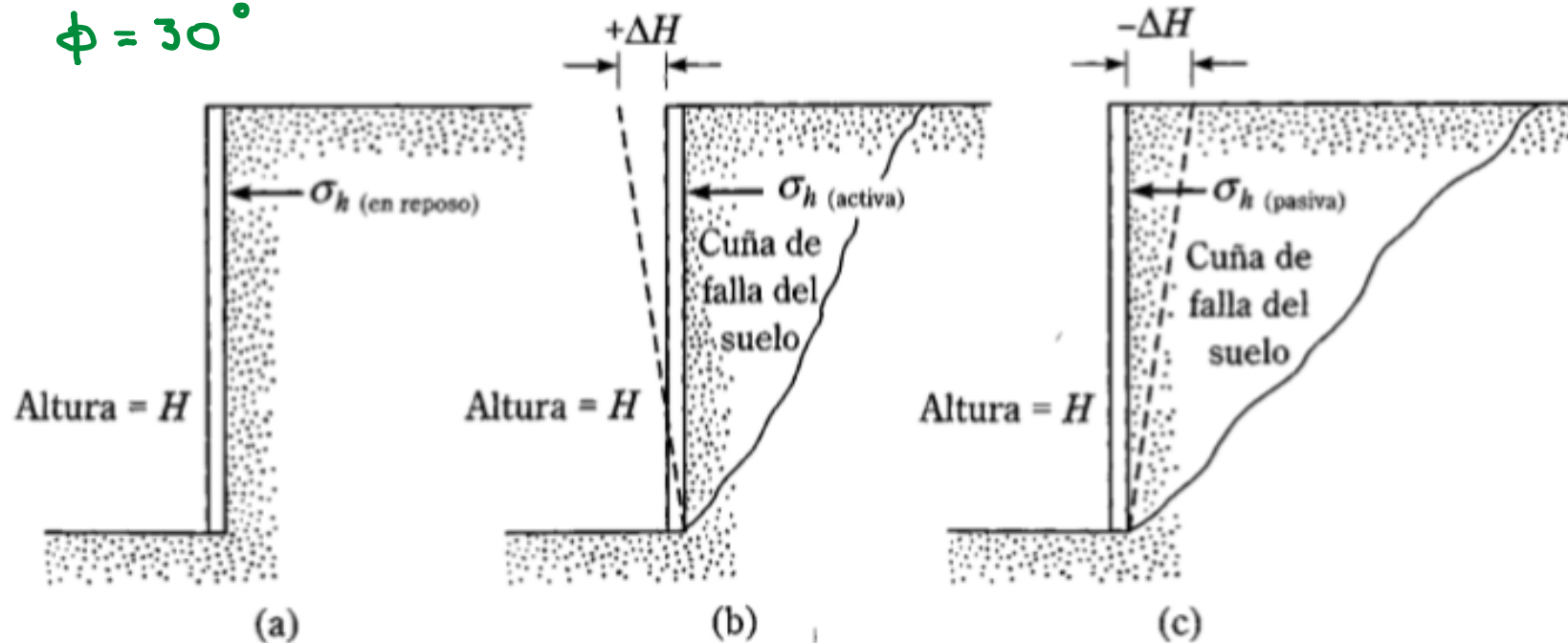




# PRESION LATERAL (EMPUJES) DE TIERRA

La figura muestra la naturaleza de la variación de la presión lateral ( $\sigma_h$ ) a cierta profundidad sobre el muro con la magnitud del movimiento de éste.

$$\phi = 30^\circ$$



▼ FIGURA Naturaleza de la presión lateral de la tierra sobre un muro de retención

Coeficiente de presión en suelo en reposo

$$K_0 = 1 - \text{sen}\phi$$

$$K_0 = 0.50$$

Coeficiente de presión en suelo con condición activa

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$K_a = 0.33$$

## Presión horizontal de suelo (EH)

### 3.11.5 — Presión del Suelo: *EH*

**3.11.5.1 — Presión Lateral del Suelo** — Debe suponerse que la presión lateral del suelo es linealmente proporcional a la profundidad del suelo y se calcula como:

$$p = k\gamma_s z \quad (3.11.5.1-1)$$

donde:

- $p$  = presión lateral del suelo (kPa)
- $k$  = coeficiente de presión lateral del suelo tomado como  $k_0$ , especificado en el Artículo 3.11.5.2, para muros que no se deflecten ni se muevan;  $k_a$ , especificado en los Artículos 3.11.5.3, 3.11.5.6 y 3.11.5.7, para muros que se deflecten o se muevan suficientemente para alcanzar condiciones activas mínimas; o  $k_p$ , especificado en el Artículo 3.11.5.4, para muros que se deflecten o se muevan suficientemente para alcanzar una condición pasiva
- $\gamma_s$  = peso unitario del suelo (kN/m<sup>3</sup>)
- $z$  = profundidad del suelo bajo la superficie (mm)

**3.11.5.2 — Coeficiente de presión lateral de suelo en reposo,  $k_o$**  — Para suelos normalmente consolidados, muros verticales y terreno nivelado, el coeficiente de empuje lateral en reposo se puede tomar como:

$$k_o = 1 - \text{seno}\phi'_f \quad (3.11.5.2-1)$$

donde:

- $\phi'_f$  = ángulo de fricción efectiva del suelo

# ANÁLISIS DE CARGAS

Coeficiente de presión activa de Coulomb.

**3.11.5.3 — Coeficiente de Presión Lateral Activa de Suelo,  $k_a$**  — Los valores del coeficiente de presión lateral activa de suelo se pueden calcular con:

$$k_a = \frac{\text{seno}^2(\theta + \phi'_f)}{\Gamma(\text{seno}^2\theta \text{seno}(\theta - \delta))} \quad (3.11.5.3-1)$$

en la cual:

$$\Gamma = \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{seno}(\phi'_f + \delta) \text{seno}(\phi'_f - \beta)}{\text{seno}(\theta - \delta) \text{seno}(\theta + \beta)}} \right]^2 \quad (3.11.5.3-2)$$

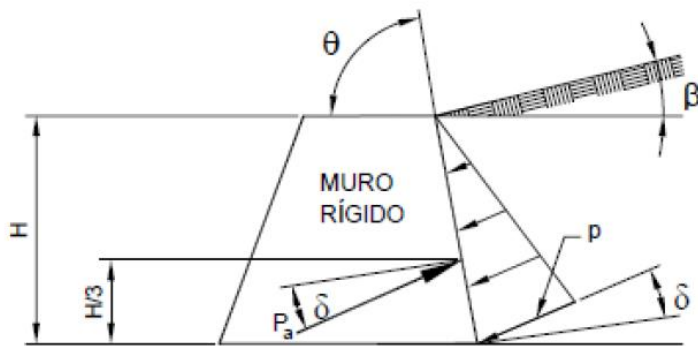


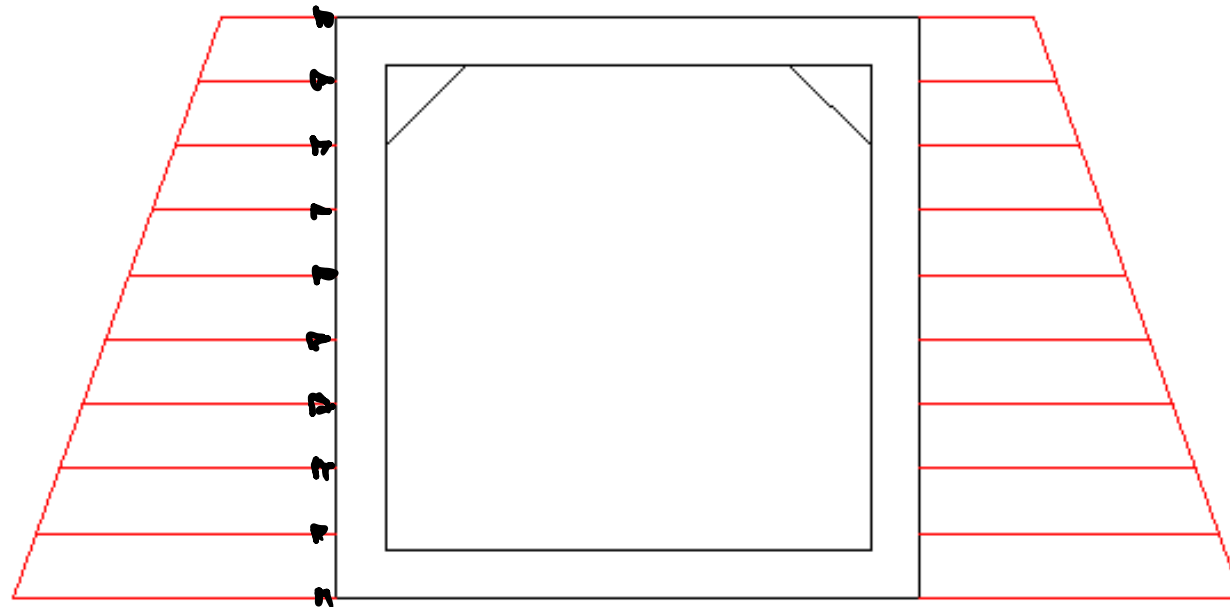
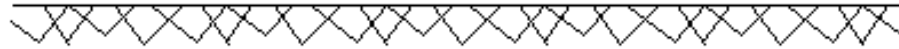
Figura 3.11.5.3-1 — Nomenclatura para la Presión de Activa de Coulomb

Tabla 3.11.5.3-1 — Ángulo de fricción entre diferentes materiales (U.S. Department of the Navy, 1982a)

Materiales de Interfaz	Ángulo de Fricción, $\delta$ (grados)	Coeficiente de Fricción, $\tan \delta$ (adimensional)
Concreto masivo sobre los siguientes materiales de cimentación:		
• Roca intacta limpia	35	0.70
• Grava limpia, mezclas de grava y arena, arena gruesa	29 a 31	0.55 a 0.60
• Arena de fina a media, arena limosa media a gruesa, grava limosa o arcillosa	24 a 29	0.45 a 0.55
• Arena fina limpia, arena limosa, o arcilla fina a media	19 a 24	0.34 a 0.45
• Limo fino arenoso, limo no plástico	17 a 19	0.31 a 0.34
• Arcilla residual o preconsolidada muy rígida y dura	22 a 26	0.40 a 0.49
• Arcilla rígida media y rígida y arcilla limosa	17 a 19	0.31 a 0.34
La mampostería sobre materiales de cimentación tiene los mismos factores.		
Tablestacado de acero contra los siguientes suelos:		
• Grava limpia, mezclas de grava y arena, relleno de roca bien gradado con astillas	22	0.40
• Arena limpia, mezclas de grava y arena limosa, relleno de roca dura de un solo tamaño	17	0.31
• Arena limosa, grava o arena mezclada con limo o arcilla	14	0.25
• Limo fino arenoso, limo no plástico	11	0.19
Concreto vaciado o prefabricado o tablestacado de concreto contra los siguientes suelos:		
• Grava limpia, mezclas de grava y arena, lleno de roca bien gradada con astillas	22 a 26	0.40 a 0.49
• Arena limpia, mezclas grava y arena limosa, relleno de roca dura de un solo tamaño	17 a 22	0.31 a 0.40
• Arena limosa, grava o arena mezclada con limo o arcilla	17	0.31
• Limo fino arenoso, limo no plástico	14	0.25
Varios materiales estructurales:		
• Mampostería sobre mampostería, rocas ígneas y metamórficas:		

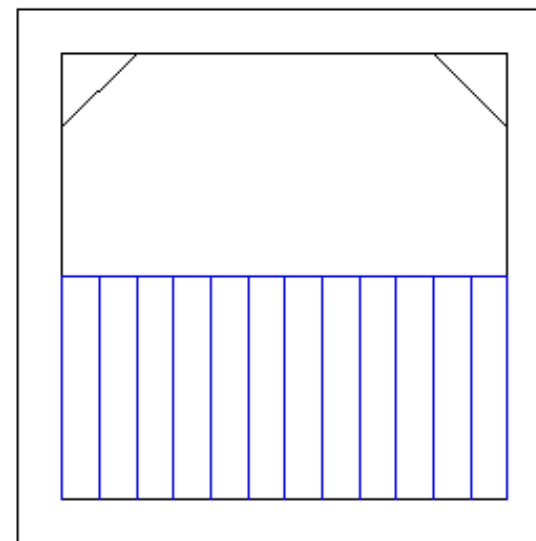
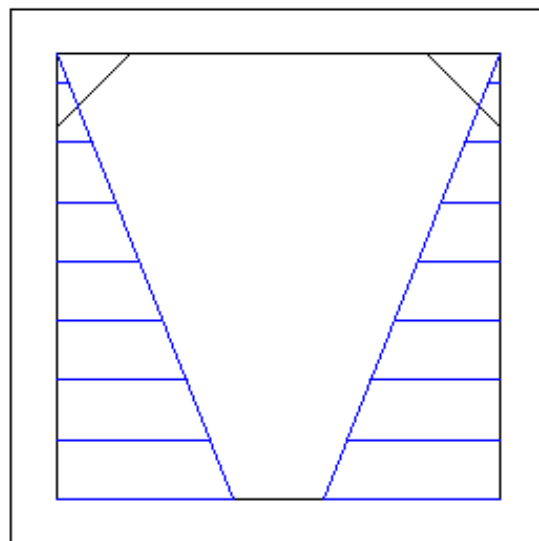
# Presión horizontal de suelo (EH )

## Situación 1



# Presión hidrostática (Debido al agua)

## Situación 1





## Presión lateral por sobrecarga viva (LS)

**3.11.6.4 — Sobrecarga por carga viva (LS)** — La sobrecarga por carga viva debe aplicarse donde se espere carga vehicular sobre la superficie del relleno dentro de una distancia igual a la mitad de la altura del muro desde el respaldo del muro. Si la sobrecarga es por una carretera, la intensidad de la carga debe ser consistente con las disposiciones del Artículo 3.6.1.2. Si la sobrecarga es por causa diferente de una carretera, el Propietario debe especificar y/o aprobar las sobrecargas apropiadas.

El incremento en la presión horizontal debida a la sobrecarga por carga viva puede estimarse como:

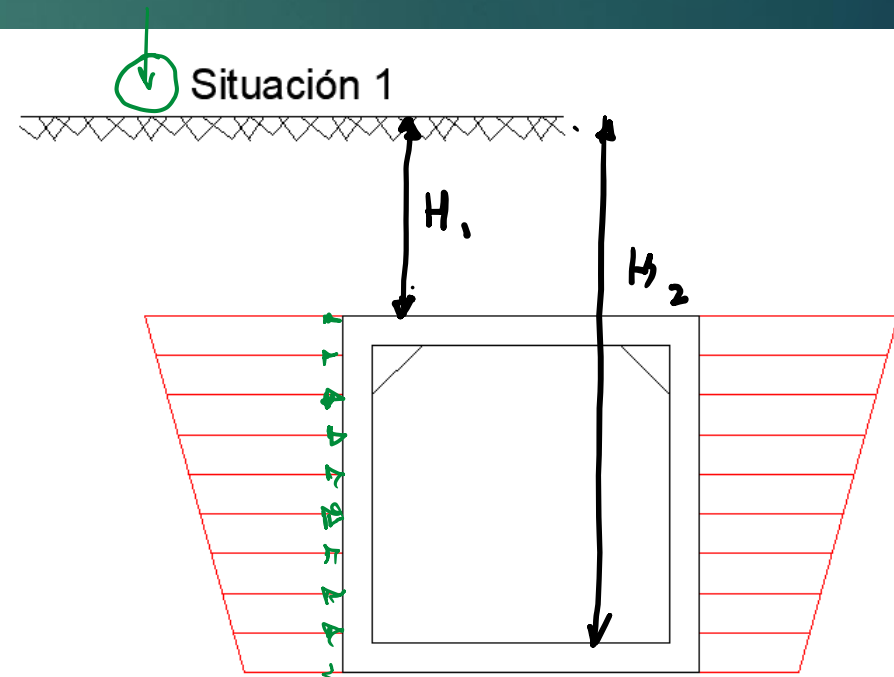
$$\Delta_p = k\gamma_s h_{eq} \times 10^{-9} \quad (3.11.6.4-1)$$

donde:

- $\Delta_p$  = presión constante horizontal de suelo debida a la sobrecarga por carga viva (MPa)
- $\gamma_s$  = peso unitario total de suelo (kN/m<sup>3</sup>)
- $k$  = coeficiente de presión lateral de suelo
- $h_{eq}$  = altura equivalente de suelo para carga vehicular (mm)

**Tabla 3.11.6.4-1 — Alturas equivalentes de suelo para carga vehicular sobre estribos perpendiculares al tráfico**

Altura del Estribo (mm)	$h_{eq}$ (mm)
1500	1200
3000	900
≥ 6000	600



# Presión vertical del terreno (EV)

## 12.11.2.2 — Modificación de las Cargas de Suelo para Considerar la Interacción Suelo-Estructura

### 12.11.2.2.1 — Instalaciones en Zanja y bajo Terraplén

— En ausencia de un análisis más refinado, la carga de suelo total no mayorada,  $W_E$ , que actúa en la alcantarilla se puede tomar de la siguiente manera:

- Para instalaciones bajo terraplén:

$$W_E = F_e \gamma_s B_c H \quad (12.11.2.2.1-1)$$

En donde:

$$F_e = 1 + 0.20 \frac{H}{B_c} \quad (12.11.2.2.1-2)$$

- Para instalaciones en zanja:

$$W_E = F_t \gamma_s B_c H \quad (12.11.2.2.1-3)$$

En el cual:

$$F_t = \frac{C_d B_d^2}{H B_c} \leq F_e \quad (12.11.2.2.1-4)$$

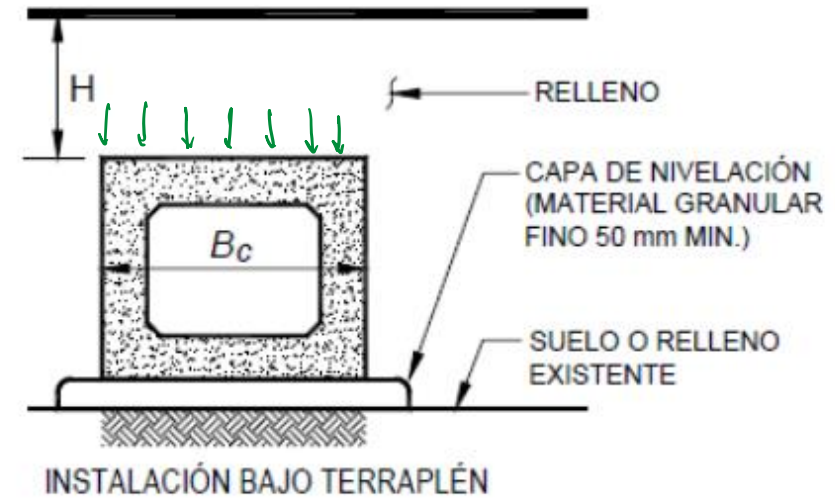


Figura 12.11.2.2.1-1 — Instalaciones bajo terraplén — Secciones tipo cajón de concreto prefabricado

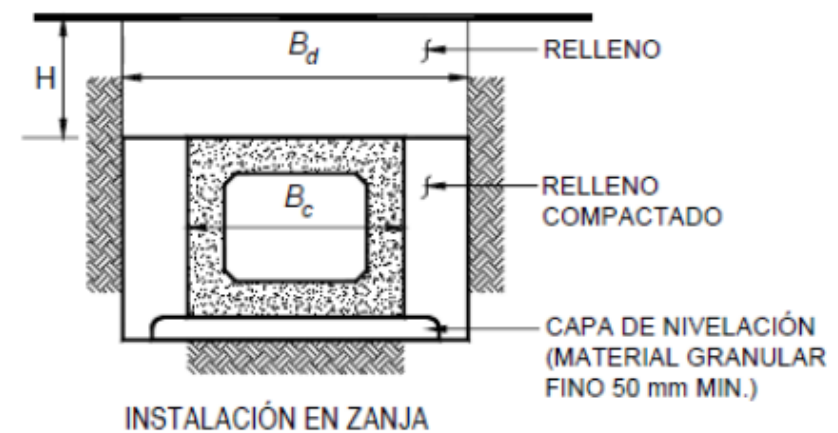
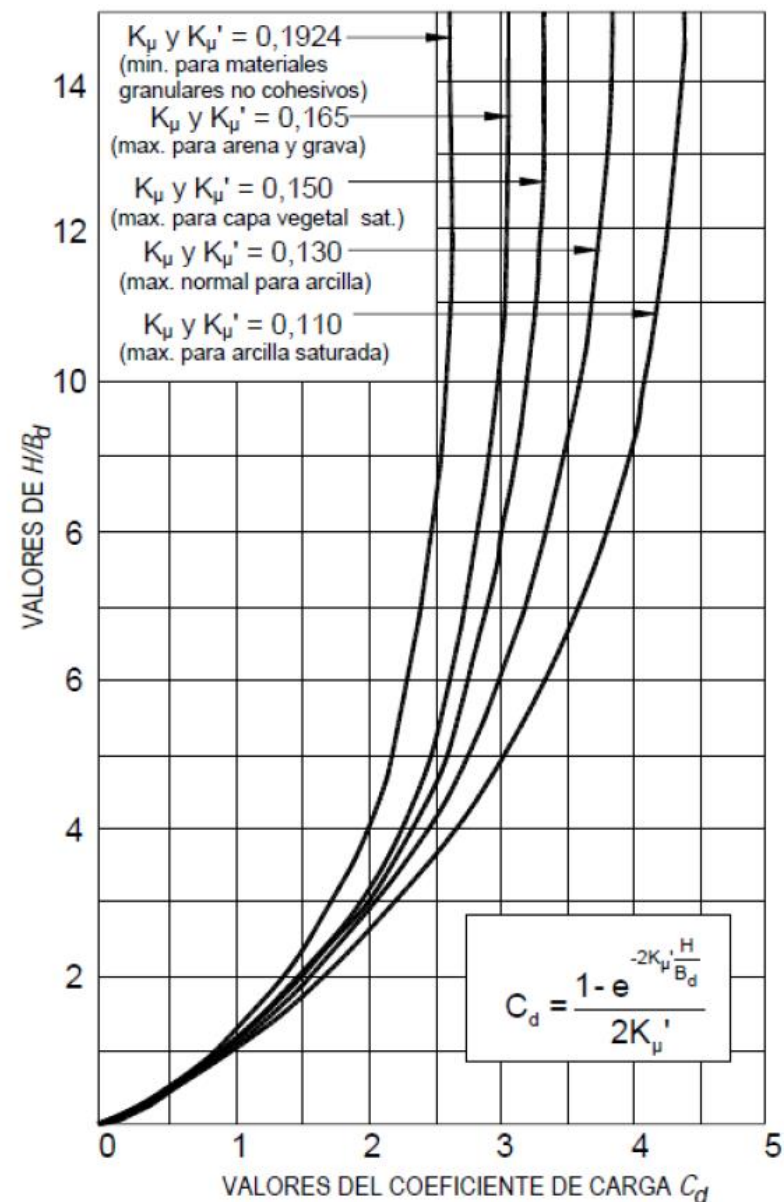


Figura 12.11.2.2.1-2 — Instalaciones en zanja. Secciones tipo cajón de concreto prefabricado

- $W_E$  = carga de suelo total no mayorada (N/mm)  
 $B_c$  = ancho exterior de la alcantarilla como se especifica en las Figuras 12.11.2.2.1-1 or 12.11.2.2.1-2, según corresponda (mm)  
 $H$  = profundidad del relleno como se especifica en las Figuras 12.11.2.2.1-1 o 12.11.2.2.1-2 (mm)  
 $F_e$  = factor de interacción suelo-estructura para instalaciones bajo terraplén  
 $F_t$  = factor de interacción suelo-estructura para instalaciones en zanja  
 $\gamma_s$  = densidad del relleno ( $\text{Kg/m}^3$ )  
 $B_d$  = ancho horizontal de la zanja como se especifica en la Figura 12.11.2.2.1-2 (mm)  
 $C_d$  = coeficiente especificado en la Figura 12.11.2.2.1-3



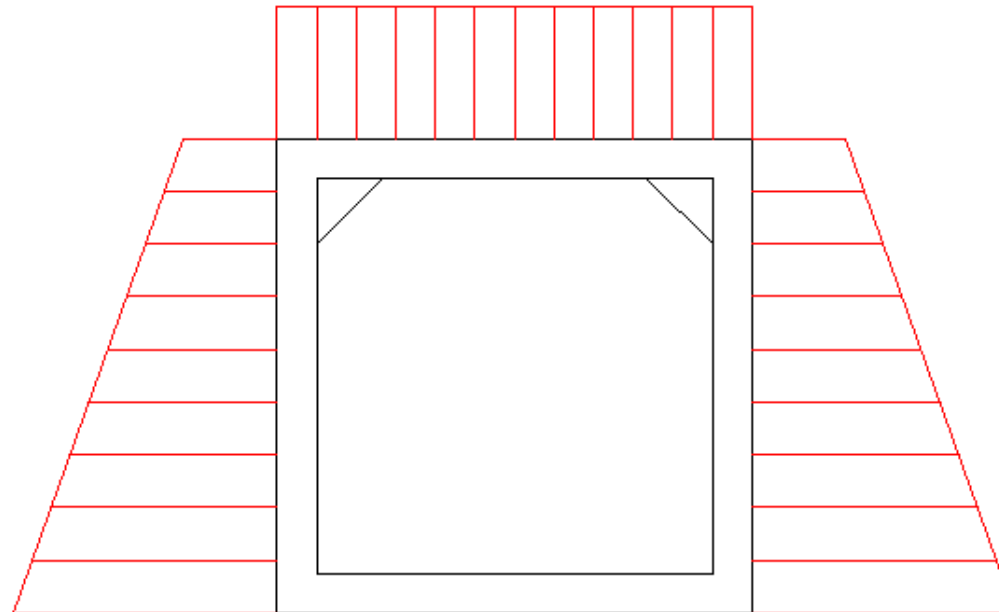
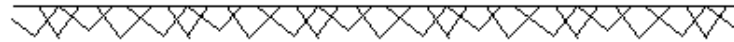
## DISEÑO PARA INSTALACIONES EN ZANJA

$$F_t = \frac{C_d B_d^2}{H B_c} \leq F_e$$

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

$$W_E = F_t * \gamma_s * H$$

### Situación 1





# Distribución de la carga viva montada en la parte superior

## 3.6.1.2.6a — General —

Para alcantarillas con tramo sencillo, los efectos de la carga viva, no se tienen en cuenta cuando la profundidad del relleno es mayor a 2438mm y supere la longitud del tramo; Para múltiples tramos, los efectos no se tienen en cuenta cuando la profundidad del relleno supera la distancia entre las caras interiores de los muros exteriores.

La carga viva debe distribuirse en la parte superior de la losa de alcantarillas de tres lados, o arcos de concreto, o tuberías de concreto con menos de 600mm de relleno, como se especifica en el Artículo 4.6.2.10. Las alcantarillas circulares de concreto con 300mm o más de recubrimiento, pero menos de 600mm, deben diseñarse para una profundidad de 300mm. Las alcantarillas circulares con menos de 300mm de relleno deben ser analizadas con métodos más comprensibles.

Cuando la profundidad del relleno de alcantarillas no construidas en concreto es mayor a 300mm, o cuando la profundidad del relleno sobre alcantarillas de tres lados, o arcos de concreto, o tuberías de concreto es mayor a 600mm, la carga viva debe ser distribuida a la estructura como cargas de rueda, uniformemente distribuida sobre un área rectangular con lados equivalentes a la dimensión del área de contacto del neumático especificada en el

artículo 3.6.1.2.5 incrementado por los factores de distribución de carga viva (LLDF) especificados en la tabla 3.6.1.2.6a-1, y los requerimientos de los artículos 3.6.1.2.6b y 3.6.1.2.6c. Pueden utilizarse métodos más precisos de análisis.

Cuando la carga viva y la carga dinámica conceda momento en losas de concreto, basados en la distribución de la carga de rueda a través de los llenos de tierra, exceda la carga viva y la carga dinámica conceda momento calculado de acuerdo con el Artículo 4.6.2.1 y 4.6.2.2 se deberá usar el momento último.



### 3.6.1.2.6b — Trafico paralelo al tramo de la alcantarilla—

Para la distribución de la carga viva transversal a los tramos de las alcantarillas, la profundidad de carga rueda/eje  $H_{\text{int}-t}$  debe determinarse así:

$$H_{\text{int}-t} = \frac{s_w - w_t - 0.06D_i}{LLDF} \quad (3.6.1.2.6b-1)$$

En donde:

- Cuando  $H < H_{\text{int}-t}$  :

$$w_w = w_t + LLDF(H) + 0.06D_i \quad (3.6.1.2.6b-2)$$

- Cuando  $H \geq H_{\text{int}-t}$  :

$$w_w = w_t + s_w + LLDF(H) + 0.06D_i \quad (3.6.1.2.6b-3)$$

Para la distribución de la carga viva paralela a los tramos de las alcantarillas, la profundidad de carga rueda/eje  $H_{\text{int}-p}$  debe determinarse así:

$$H_{\text{int}-p} = \frac{s_a - l_t}{LLDF} \quad (3.6.1.2.6b-4)$$

En donde:

- Cuando  $H < H_{\text{int}-p}$  :

$$l_w = l_t + LLDF(H) \quad (3.6.1.2.6b-5)$$

- Cuando  $H \geq H_{\text{int}-p}$  :

$$l_w = l_t + s_a + LLDF(H) \quad (3.6.1.2.6b-6)$$

Dónde:

$A_{LL}$  = Área rectangular en la profundidad H (mm<sup>2</sup>)

$l_w$  = longitud del parche de la carga viva en la profundidad H (mm)

$w_w$  = ancho del parche de la carga viva en la profundidad H (mm)

$H_{int-t}$  = profundidad de interacción rueda/eje transversal al tramo de la alcantarilla (mm)

$s_w$  = distancia entre ruedas, 1828mm

$w_t$  = ancho del parche de la rueda, 508mm

$D_i$  = diámetro interior o tramo libre de la alcantarilla

$LLDF$  = Factor de distribución de carga viva como se especifica en la tabla 3.6.1.2.6a-1

$H$  = profundidad del relleno sobre la alcantarilla (mm)

$H_{int-p}$  = profundidad de interacción rueda/eje paralela al tramo de la alcantarilla (mm)

$s_a$  = distancia entre ejes (mm)

$l_t$  = longitud del parche de la rueda, 254mm

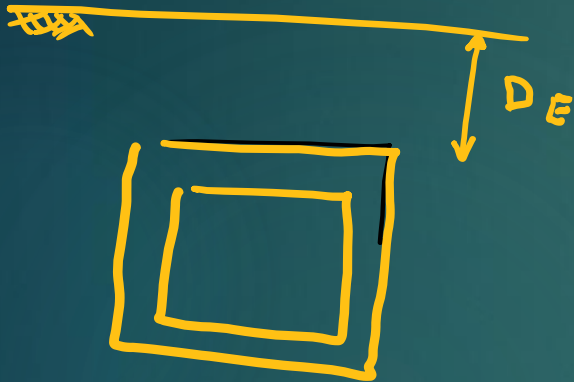
Tabla 3.6.1.2.6a-1 Factor de distribución de carga viva (LLDF) para estructuras enterradas

Tipo de Estructura	LLDF transversal o paralelo al tramo
Tuberías de concreto con relleno con profundidad de 600mm o mayor	1.15 para diámetros de 600mm o menos 1.75 para diámetros de 2400mm o mayores Para hallar el LLDF, Interpolar linealmente entre estos límites.
Todas las demás alcantarillas y estructuras enterradas	1.15

El área rectangular ,  $A_{LL}$  , debe determinarse así:

$$A_{LL} = l_w w_w \quad (3.6.1.2.6a-1)$$

El termino  $l_w$  y  $w_w$  debe determinarse como se especifica en los artículos 3.6.1.2.6b y 3.6.1.2.6c



**3.6.2.2 — Componentes Enterrados** — La amplificación por carga dinámica, en porcentaje, para alcantarillas y otras estructuras enterradas cubiertas por en la Sección 12, debe tomarse como:

$$IM = 33 \left( 1.0 - 4.1 \times 10^{-4} D_E \right) \geq 0\% \quad (3.6.2.2-1)$$

donde:

$D_E$  = profundidad mínima de recubrimiento de tierra sobre la estructura (mm)

La presión vertical en la corona de carga viva debe determinarse así:

$$P_L = \frac{P \left( 1 + \frac{IM}{100} \right) (m)}{A_{LL}} \longrightarrow = L_L W_L \quad (3.6.1.2.6b-7)$$

Dónde:

$P_L$  = presión vertical en la corona de carga viva (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  = Carga viva aplicada en la superficie a todas las ruedas que interactúan (N)

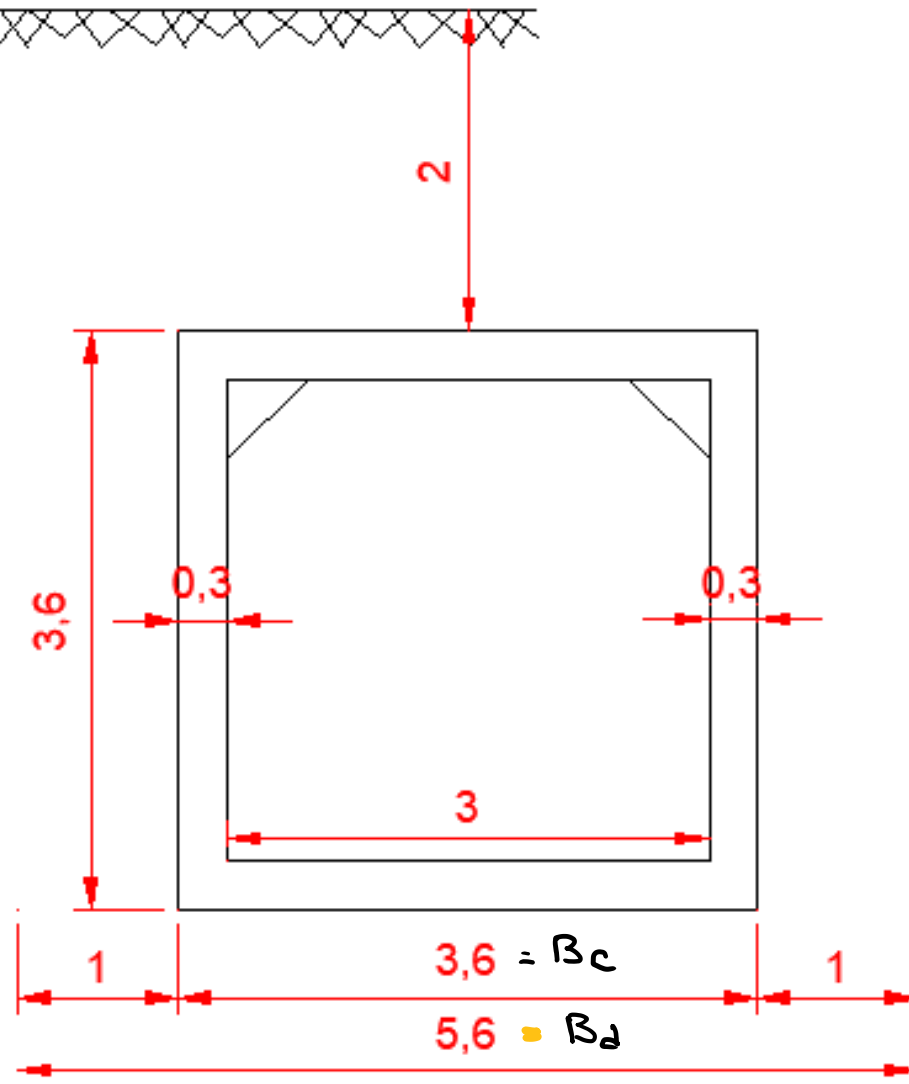
$IM$  = incremento por carga dinámica, como se especifica en el artículo 3.6.2.2

$m$  = factores de presencia múltiple, como se especifica en el artículo 3.6.1.1.2

$A_{LL}$  = área rectangular en la profundidad H (mm<sup>2</sup>)

# EJERCICIO

## Situación 1



Datos

$$\Phi = 29^\circ$$
$$\gamma_s = 1,8 \text{ tonf/m}^3$$



## Presión horizontal de suelo (EH)

$$P = K * \gamma_s * z$$

Coeficiente de presión en suelo en reposo

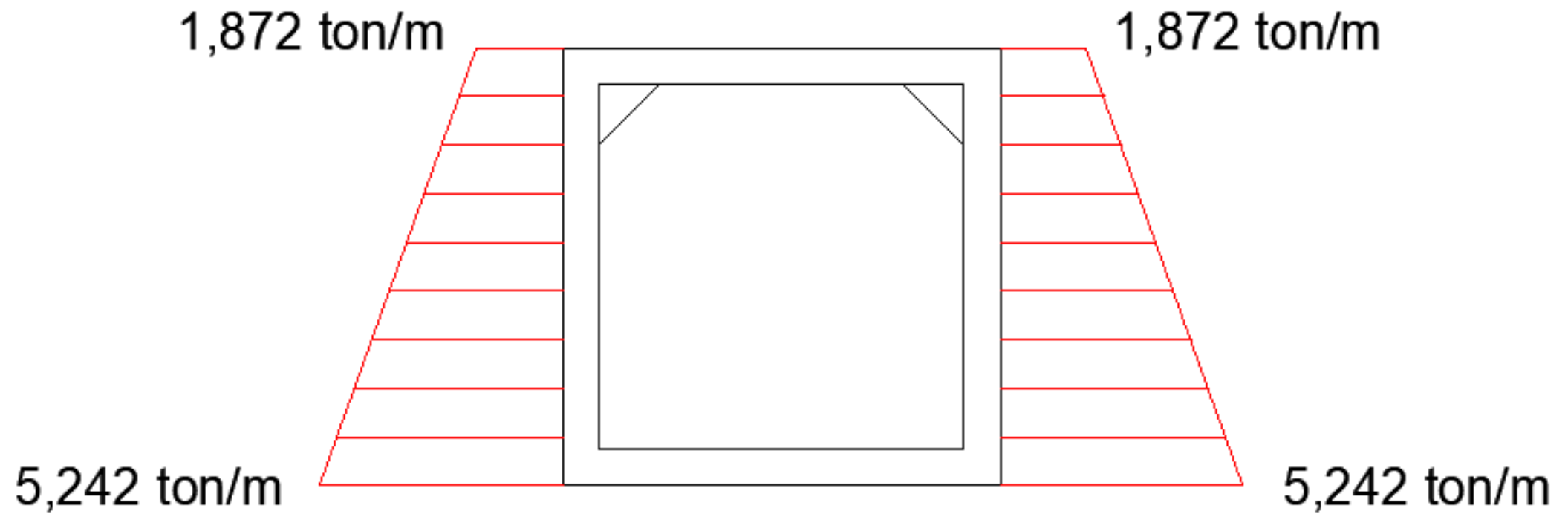
$$K_o = 1 - \text{Sen}(29^\circ) = 0,52$$

Presión horizontal de suelo (EH) por metro lineal de box Culvert

$$P_{\text{mín}} = 0,52 * \frac{1,8\text{tonf}}{\text{m}^3} * 2\text{m} * 1\text{m} = 1,872 \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$P_{\text{máx}} = 0,52 * \frac{1,8\text{tonf}}{\text{m}^3} * 5,6\text{m} * 1\text{m} = 5,242 \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

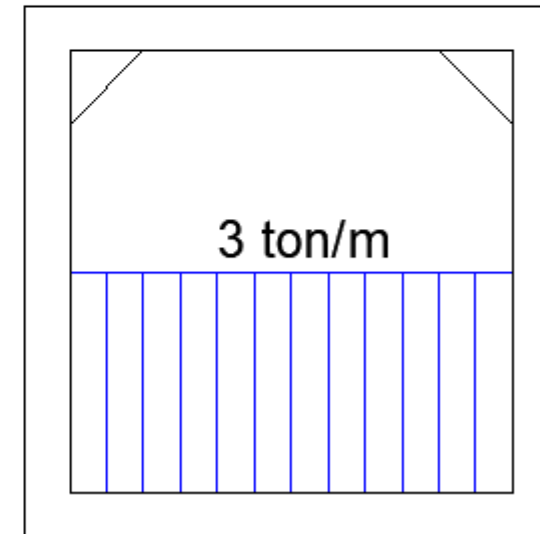
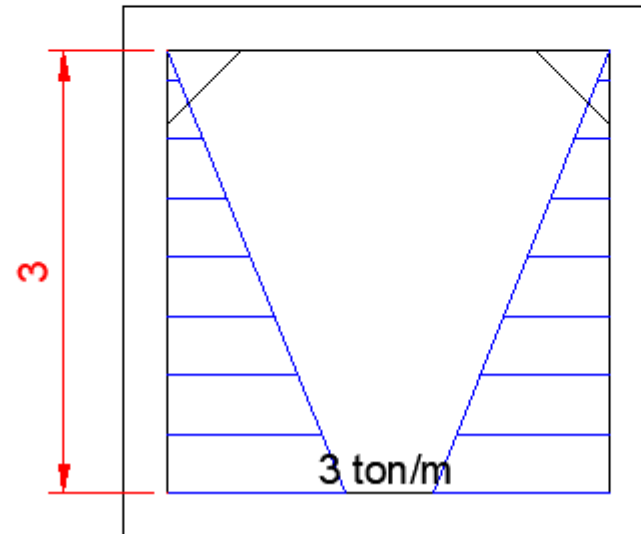
## Situación 1



## Presión hidrostática (Debido al agua) por metro lineal de box Culvert

$$P = \gamma_w * h = \frac{1,0\text{ton}}{\text{m}^3} * 3\text{m} * 1\text{m} = 3 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

### Situación 1



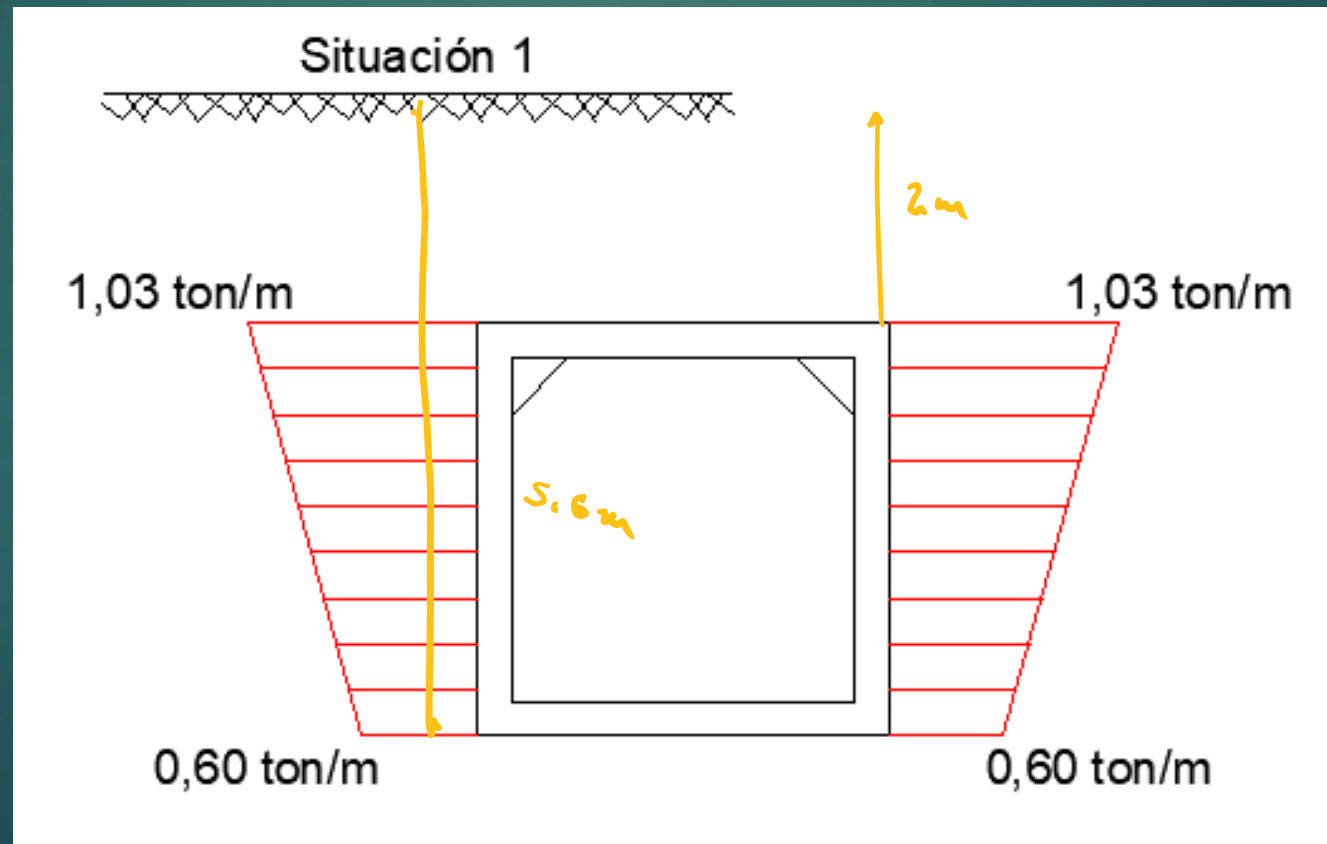
## Presión lateral por sobrecarga viva (LS) por metro lineal de box Culver

$$\Delta P = K_o * \gamma_s * h_{eq}$$

$$\Delta P_{\text{máx}} = 0,52 * \frac{1,8\text{ton}}{\text{m}^3} * 1,10\text{m} * 1\text{m} = 1,03 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$\Delta P_{\text{mín}} = 0,52 * \frac{1,8\text{ton}}{\text{m}^3} * 0,64\text{m} * 1\text{m} = 0,60 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

Altura del Estribo (mm)	$h_{eq}$ (mm)
1500	1200
3000	900
$\geq 6000$	600



# Presión vertical del terreno (EV)

## DISEÑO PARA INSTALACIONES EN ZANJA

$$F_t = \frac{C_d B_d^2}{H B_c} \leq F_e$$

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

$$W_E = F_t * \gamma_s * H$$

Se determina Cd

$$C_d = \frac{H}{B_d} = \frac{2m}{5,6m} = 0,36$$

Se halla Ft

$$F_t = \frac{C_d * B_d^2}{H * B_c} = \frac{0,4 * 5,6^2}{2 * 3,6} = 1,74$$

Se halla Fe

$$F_e = 1 + 0,20 * \frac{H}{B_c} = 1 + 0,20 * \frac{2}{3,6} = 1,11$$

Se determina We

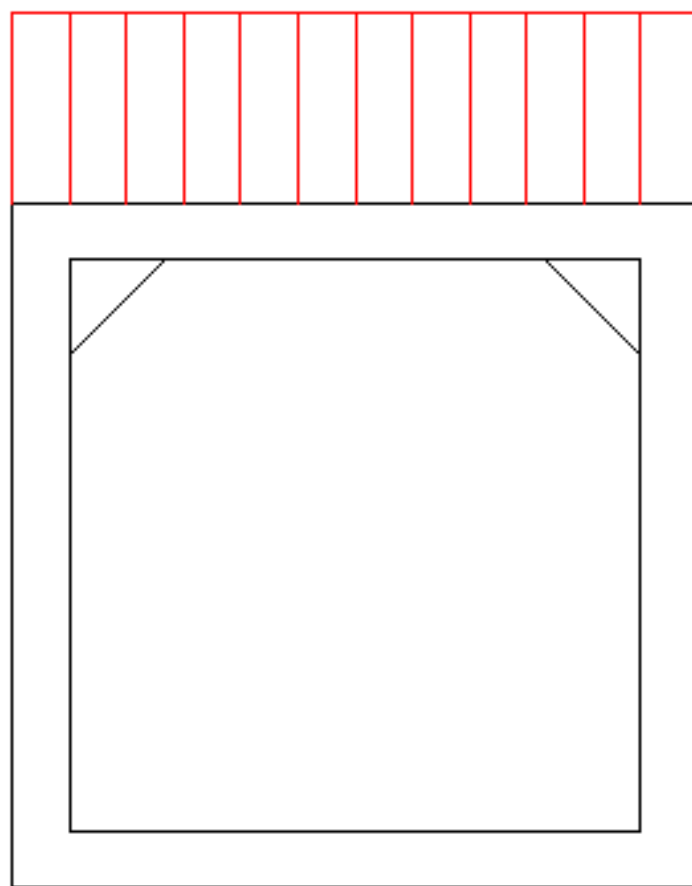
$$W_E = F_e * \gamma_s * H = 1,11 * \frac{1,8\text{ton}}{\text{m}^3} * 2m * 1m = 4 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$



## Situación 1



4 ton/m



# Distribución de la carga viva montada en la parte superior (PL)

Para el trafico transversal al tramo de la alcantarilla

$$H_{\text{int-t}} = \frac{s_w - w_t - 0.06D_i}{LLDF} \quad (3.6.1.2.6b-1)$$

En donde:

- Cuando  $H < H_{\text{int-t}}$  :

$$w_w = w_t + LLDF(H) + 0.06D_i \quad (3.6.1.2.6b-2)$$

- Cuando  $H \geq H_{\text{int-t}}$  :

$$w_w = w_t + s_w + LLDF(H) + 0.06D_i \quad (3.6.1.2.6b-3)$$

$$H = 2m$$

Para el Tándem

Se halla Hint-t

$$H_{\text{int-t}} = \frac{S_w - W_t - 0.06D_i}{LLDF} = \frac{1,828 - 0,508 - 0,06 * 3}{1,15} = 0,99m$$

Como  $H > H_{\text{int-t}}$  (  $2m > 0,99m$  )

Se halla WW por (3.6.1.2.6b-3)

$$w_w = w_t + s_w + LLDF(H) + 0.06D_i$$

$$w_w = 0,508 + 1,828 + 1,15(2) + 0,06 * 3 = 4,82m$$

Se determina la  $L_w$

$$L_w = L_t + S_a + LLDF(H)$$

$$L_w = 0,254 + 1,2 + 1,15(2) = 3,75\text{m}$$

Se halla  $A_{II}$

$$A_{II} = L_w * W_w$$

$$A_{II} = 3,75\text{m} * 4,82\text{m} = 18,075\text{m}^2$$

Se halla IM

$$IM = 33(1,0 - 4,1 * 10^{-4} * De)$$

$$IM = 33(1,0 - 4,1 * 10^{-4} * 2000) = 5,94\%$$

↗  $H = 2\text{m} = 2000\text{mm}$

Se halla PL

$$PL = \frac{P * \left(1 + \frac{IM}{100}\right) * m}{A_{II}} = \frac{12,5\text{ton} \left(1 + \frac{5,94}{100}\right) * 1,20}{18,075\text{m}^2} = 0,88 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

↗ Tandem

# Distribución de la carga viva montada en la parte superior

Para el trafico transversal al tramo de la alcantarilla

Para el Camión

Se halla  $H_{int-t}$

$$H_{int-t} = \frac{S_w - W_t - 0,06D_i}{LLDF} = \frac{1,828 - 0,508 - 0,06 * 3}{1,15} = 0,99m$$

Como  $H > H_{int-t}$  (  $2m > 0,99m$  )

Se halla  $W_w$  por (3.6.1.2.6b-3)

$$w_w = w_t + s_w + LLDF(H) + 0,06D_i$$

$$w_w = 0,508 + 1,828 + 1,15(2) + 0,06 * 3 = 4,82m$$

**Se determina la Lw**

$$L_w = L_t + S_a + LLDF(H)$$

$$L_w = 0,254 + 4,3 + 1,15(2) = 6,85\text{m}$$

**Se halla All**

$$A_{ll} = L_w * W_w$$

$$A_{ll} = 6,85\text{m} * 4,82\text{m} = 33,02\text{m}^2$$

**Se halla IM**

$$IM = 33(1,0 - 4,1 * 10^{-4} * De)$$

$$IM = 33(1,0 - 4,1 * 10^{-4} * 2000) = 5,94\%$$

**Se halla PL**

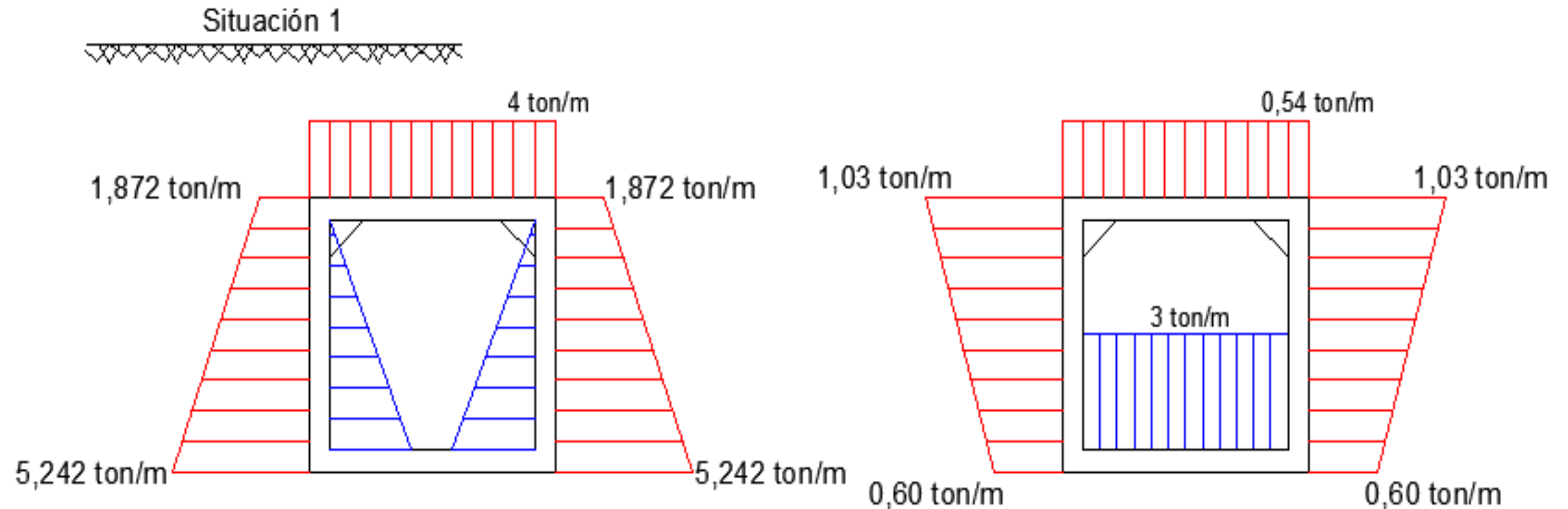
$$PL = \frac{P * \left(1 + \frac{IM}{100}\right) * m}{A_{ll}} = \frac{16\text{ton} \left(1 + \frac{5,94}{100}\right) * 1,20}{33,02\text{m}^2} = 0,62 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

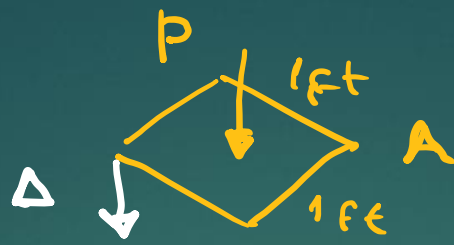


## Resumen de cargas

$$D_D = \text{Peso propio} \quad E_V = 4 \frac{\text{ton}}{\text{m}} \quad E_{H(\text{Mín})} = 1,872 \frac{\text{ton}}{\text{m}} \quad E_{H(\text{Máx})} = 5,242 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$w_A = 3 \frac{\text{ton}}{\text{m}} \quad L_{S(\text{Mín})} = 0,60 \frac{\text{ton}}{\text{m}} \quad L_{S(\text{Máx})} = 1,03 \frac{\text{ton}}{\text{m}} \quad P_L = 0,88 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$





$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$K = \frac{Q}{\Delta} = \frac{P}{\Delta A} = \frac{P}{V_{02}}$$

Asumiendo un  $q_{Adm} = 20 \text{ ton/m}^2 = 2 \text{ kgf/cm}^2$

Kbalastro	4	kgf/cm <sup>3</sup>
$\phi =$	29	

$$K_R = K_b \times \text{Área}$$

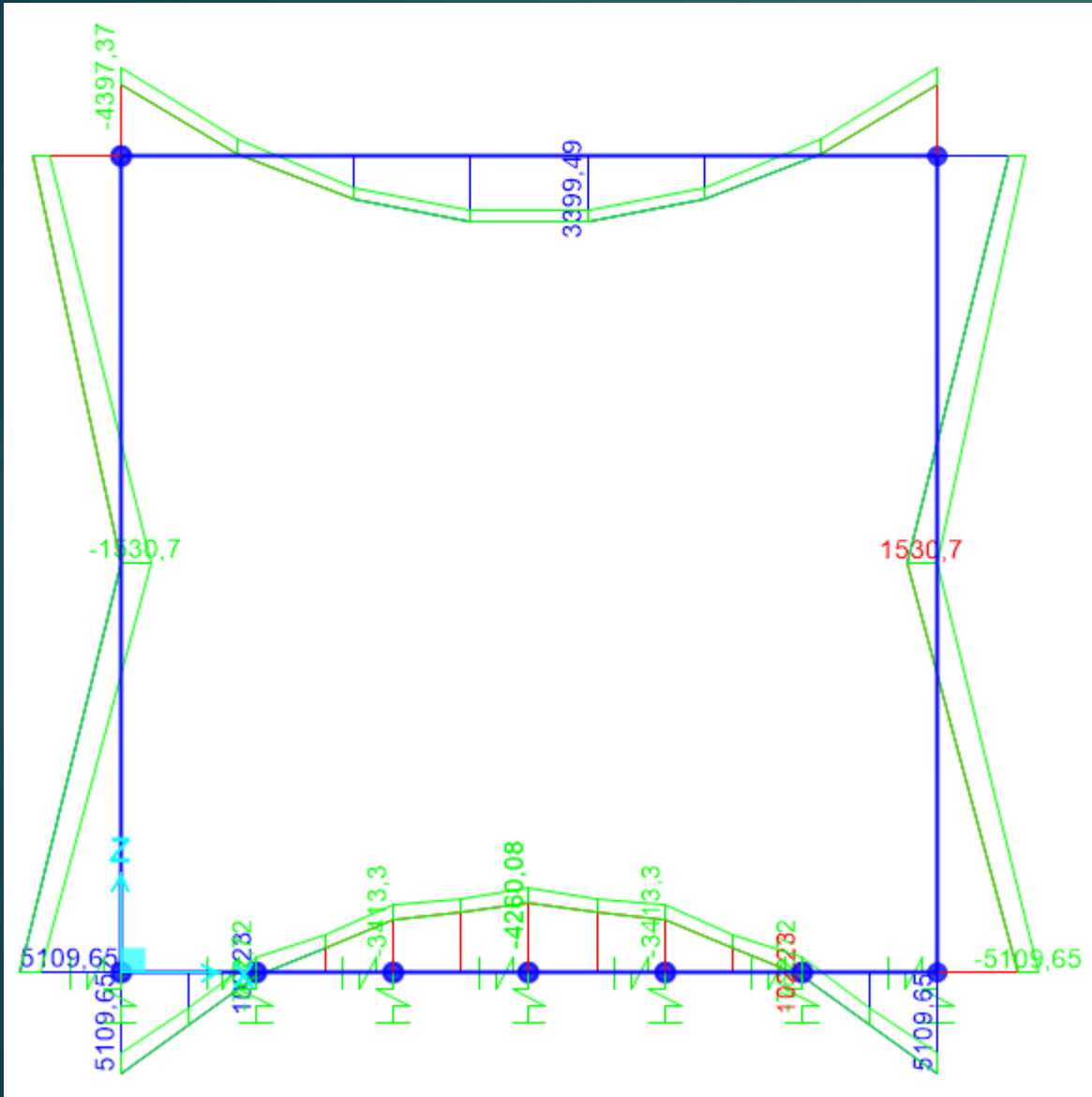
$$4 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3} \times 5500 \text{ cm}^2 = \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$$

Nudo	Ancho(cm)	Largo (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	Ksv (kgf/cm)	Ksh (kgf/cm)
Nudo interior	55	100	5500	22000	11334,19
Nudo exterior	27,5	100	2750	11000	5667,09

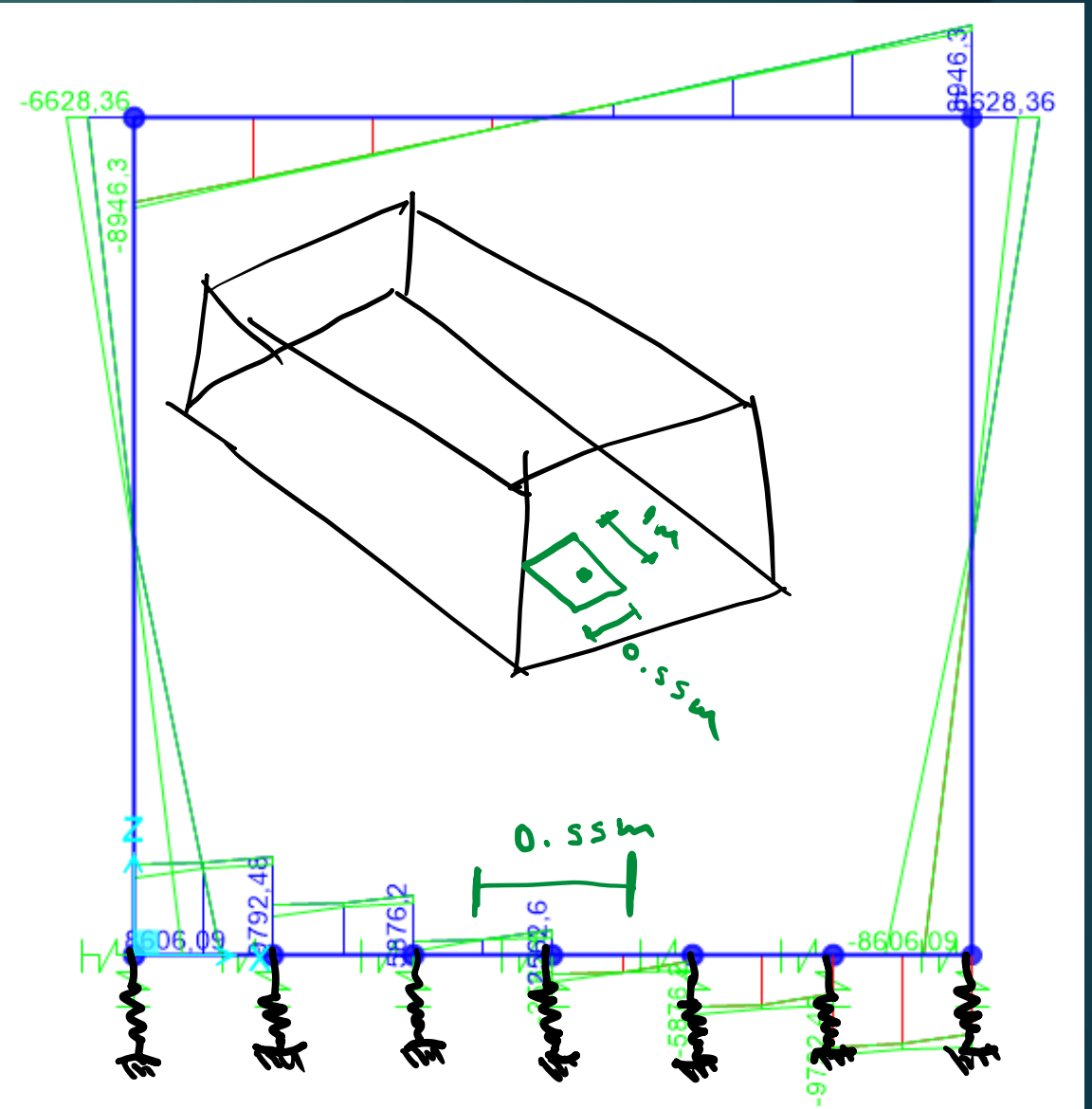
Nota: La losa de fondo se dividió en 6 tramos cada uno de 55cm

# Cargas de servicio

## Diagrama de momento

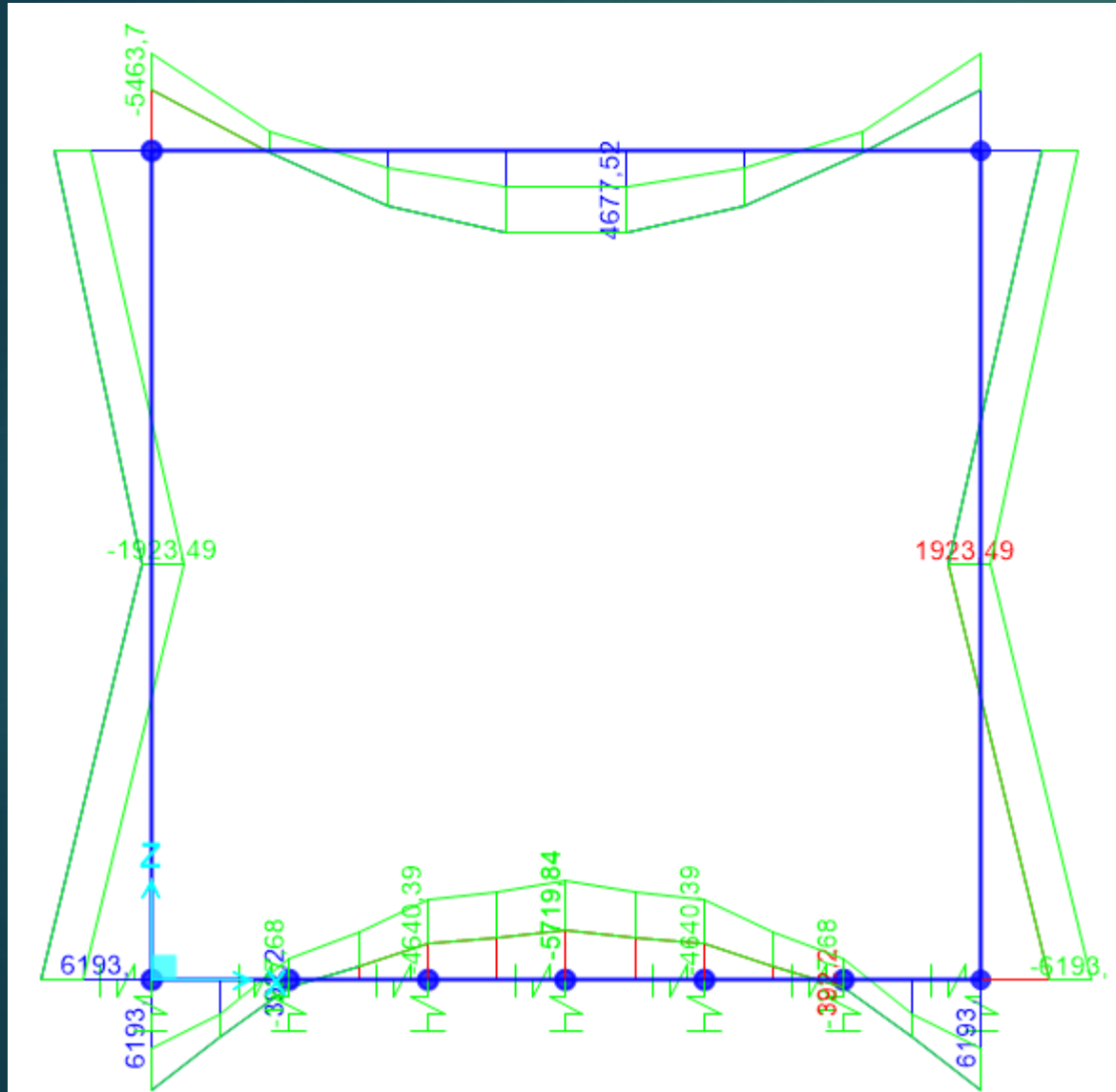


## Diagrama de cortante



# Cargas Mayoradas

## Diagrama de momento



## Diagrama de cortante

