



**Alcaldía
de Sincé**

PAVIMENTACION EN CONCRETO RIGIDO DE LA CALLE 6, CARRERA 1A Y
CARRERA 1B DEL BARRIO SAN MARTIN EN EL MUNICIPIO DE SINCÉ, SUCRE

MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL DE OBRAS HIDRÁULICAS

PETICIONARIO: ALCALDÍA MUNICIPAL DE SINCÉ

CONSULTOR: INGECO LG SAS

SINCELEJO, JUNIO 2025



PAVIMENTACION EN CONCRETO RIGIDO DE LA CALLE 6, CARRERA 1A Y
CARRERA 1B DEL BARRIO SAN MARTIN EN EL MUNICIPIO DE SINCÉ, SUCRE

MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL DE OBRAS HIDRÁULICAS

PETICIONARIO: ALCALDÍA MUNICIPAL DE SINCÉ

CONSULTOR: INGECO LG SAS

SINCELEJO, JUNIO 2025



Alcaldía
de Sincé



PAVIMENTACION EN CONCRETO RIGIDO DE LA CALLE 6,
CARRERA 1A Y CARRERA 1B DEL BARRIO SAN MARTIN
EN EL MUNICIPIO DE SINCÉ, SUCRE

MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL DE OBRAS HIDRÁULICAS

MC-EST-00520

REVISIÓN RA

YAMID SANTIAGO MONTENEGRO RIOS

Ingeniero Civil

Esp. Análisis y Diseño de Estructuras

M.P.: 22202-296866 COR

Revisión	Modificaciones	Fecha
A	Emitido para comentarios del Cliente	25-06-2025

Elaboración - Revisión - Aprobación

Revisión	Diseñador:		Revisor:		Interventor:	
	Nombre	Firma	Nombre	Firma	Nombre	Firma
A	Y.M.R.		N/A		N/A	

Los derechos de autor de este documento son de del diseñador estructural, quien queda exonerado de toda responsabilidad si este documento es alterado o modificado. No se autoriza su empleo o reproducción total o parcial con fines diferentes al contratado.



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	7
2	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	8
3	CÓDIGOS Y REGLAMENTOS	8
4	DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS	9
5	CALIDAD DE LOS MATERIALES	11
5.1	CALIDAD DEL CONCRETO	11
5.2	ACERO DE REFUERZO	11
5.3	ACERO ESTRUCTURAL	11
5.4	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN, DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN	11
6	PARÁMETROS DE DISEÑO	12
6.1	PARÁMETROS SÍSMICOS	12
6.2	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	12
7	EVALUACIÓN DE CARGAS	13
7.1	CARGA MUERTA, DC	13
7.2	CARGA VIVA VEHICULA Y PEATONAL, LL	13
7.3	EMPUJES SOBRE MUROS DE ESTRUCTURAS	14
7.3.1	Empuje dinámico del terreno, EQ	14
7.3.2	Empuje estático del terreno, EH	15
7.3.3	Empuje producido por la sobrecarga viva, LS	15
7.3.4	Empuje hidrostático, WA	16
7.4	COMBINACIONES Y FACTORES DE CARGA	17
8	DISEÑO DE LA ESTRUCTURAS	18
8.1	HIPÓTESIS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE CÁRCAMOS	18
8.1.1	Hipótesis de Carga 1: Construcción	18
8.1.2	Hipótesis de Carga 2: Vacío	18
8.1.3	Hipótesis de Carga 3: Lleno	19
8.2	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CÁRCAMO TIPO 1	19
8.2.1	Aplicación de cargas al modelo matemático	19
8.2.2	Diagramas de fuerza cortante y momento flector	22



**Alcaldía
de Sincé**



8.3	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CÁRCAMO TIPO 2	24
8.3.1	Diagramas de fuerza cortante y momento flector	28
8.4	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CÁRCAMO TIPO 3	30
8.4.1	Diagramas de fuerza cortante y momento flector	34
8.5	DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS CÁRCAMOS	36
8.6	VERIFICACIÓN DE FLOTACIÓN POR SUBPRESIÓN	38
8.7	VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD ADMISIBLE MÁXIMA.....	39
8.8	DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS REJILLAS DE DRENAJE	40



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización general del proyecto	8
Figura 2: Isométrico, cárcamo tipo 1	9
Figura 3: Isométrico, cárcamo tipo 2	10
Figura 4: Isométrico, cárcamo tipo 3	10
Figura 5: Camión de diseño definido en CCP – 2014	13
Figura 6: Asignación de empuje de suelo, EH a cárcamo tipo 1	19
Figura 7: Asignación de empuje hidráulico, WA a cárcamo tipo 1	20
Figura 8: Asignación de empuje por sobrecarga, LS a cárcamo tipo 1	20
Figura 9: Asignación carga viva peatonal, LL a cárcamo tipo 1	21
Figura 10: Asignación de empuje de subpresión, SUB a cárcamo tipo 1	21
Figura 11: Diagrama de cortante para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 1	22
Figura 12: Diagrama de momento para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 1	22
Figura 13: Diagrama de cortante para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 1	23
Figura 14: Diagrama de momento para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 1	23
Figura 15: Asignación de empuje de suelo, EH a cárcamo tipo 2	24
Figura 16: Asignación de empuje hidráulico, WA a cárcamo tipo 2	24
Figura 17: Asignación de empuje por sobrecarga, LS a cárcamo tipo 2	25
Figura 18: Asignación de empuje de subpresión, SUB a cárcamo tipo 2	25
Figura 19: Definición del vehículo de diseño, cárcamo tipo 2	27
Figura 20: Definición de carga viva como carga móvil, cárcamo tipo 2	27
Figura 21: Diagrama de cortante para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 2	28
Figura 22: Diagrama de momento para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 2	28
Figura 23: Diagrama de cortante para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 2	29
Figura 24: Diagrama de momento para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 2	29
Figura 25: Asignación de empuje de suelo, EH a cárcamo tipo 3	30
Figura 26: Asignación de empuje hidráulico, WA a cárcamo tipo 3	30
Figura 27: Asignación de empuje por sobrecarga, LS a cárcamo tipo 3	31
Figura 28: Asignación de empuje de subpresión, SUB a cárcamo tipo 3	31
Figura 29: Definición del vehículo de diseño, cárcamo tipo 3	33
Figura 30: Definición de carga viva como carga móvil, cárcamo tipo 3	33
Figura 31: Diagrama de cortante para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 3	34
Figura 32: Diagrama de momento para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 3	34
Figura 33: Diagrama de cortante para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 3	35
Figura 34: Diagrama de momento para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 3	35
Figura 35: Proyección de huella vehicular sobre rejilla de drenaje	40
Figura 36: Definición del vehículo de diseño, rejilla de drenaje	40
Figura 37: Definición de la sección de diseño, rejilla de drenaje	41



**Alcaldía
de Sincé**



Figura 38: Diagramas de corte y momento, rejilla de drenaje	41
Figura 39: Índice de sobreesfuerzo de diseño, rejilla de drenajes	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros Sísmicos	12
Tabla 2: Parámetros Geotécnicos	12
Tabla 3: Altura equivalente de suelo para carga vehicular sobre estribos perpendiculares al tráfico.	15
Tabla 4: Altura equivalente de suelo para carga vehicular sobre muros de contención paralelos al tráfico.	16
Tabla 5: Combinaciones y Factores de Carga, CCP-2014.....	17
Tabla 6: Factores para cargas permanentes, CCP-2014.....	17



**Alcaldía
de Sincé**



1 INTRODUCCIÓN

Este documento contiene los análisis y memorias de cálculo estructurales desarrolladas para la elaboración de los planos para construcción de las obras de drenaje hidráulico, requeridas para el proyecto de "PAVIMENTACIÓN EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE SINCÉ. INTERVENCIÓN TRAMO 7(CALLE 11 ENTRE CARRERA 18 Y CARRERA 14)". Las obras hidráulicas se encuentran en una vía del municipio de Sincé, departamento de Sucre. En algunas zonas las estructuras deben cumplir la función de paso vehicular elevado sobre el flujo de drenaje, según el diseño hidrológico e hidráulico.

Se incluye tanto la normatividad aplicada como la metodología y procedimiento que se siguió, para la elaboración de los modelos que permitieron analizar las diferentes combinaciones de carga tanto estática como dinámica, durante construcción y operación y así lograr un óptimo dimensionamiento con su respectivo reforzamiento en todos los elementos que componen las estructuras aquí presentadas y justificar todo lo indicado en los planos para su debida construcción.



2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se localiza en el casco urbano, del municipio de Sincé, del departamento de Sucre. El municipio de Sincé está localizado en la subregión de La Sabana, en el centro departamento. Limita al norte, con los municipios de San Pedro, Los Palmitos y San Juan de Betulia; al oeste, con el municipio de Buenavista; al sur, con los municipios de San Benito Abad y Galeras; y al occidente con los municipios del Roble y Corozal.

Las obras hidráulicas se encuentran sobre una vía del casco urbano del municipio, específicamente en la calle 11 entre la carrera 14 y la carrera 18. En la siguiente imagen se muestra la localización general del proyecto.

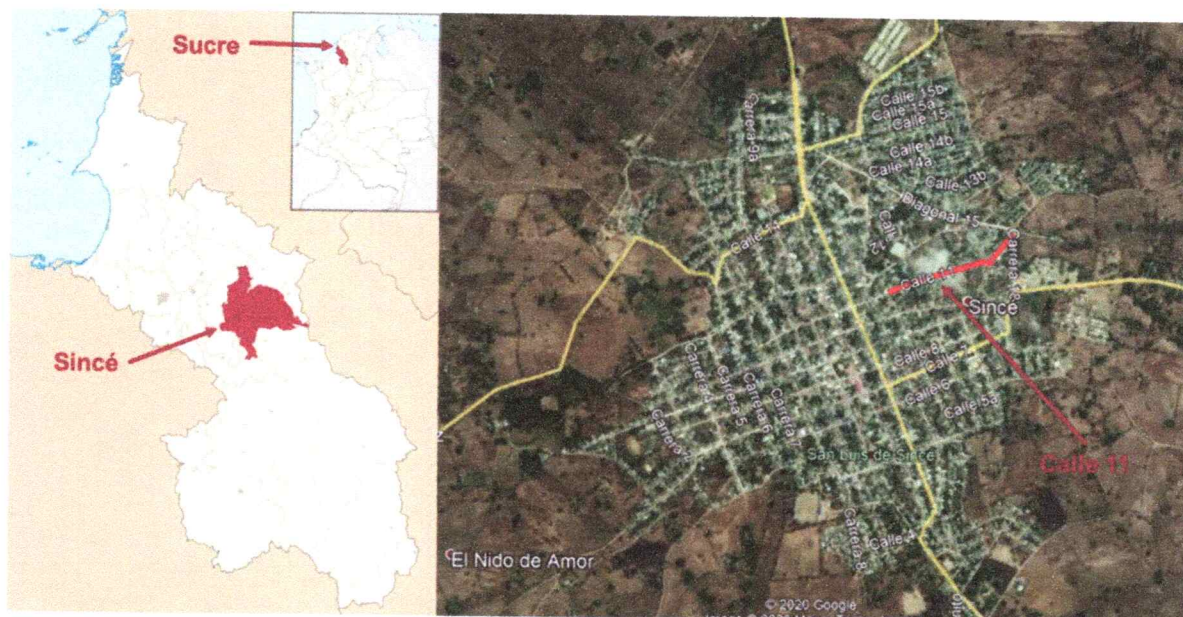


Figura 1: Localización general del proyecto

3 CÓDIGOS Y REGLAMENTOS

Las estructuras se diseñaron cumpliendo con lo establecido en las siguientes normas, códigos y/o reglamentos de diseño y construcción aplicables en el desarrollo de los diseños estructurales de este proyecto.

- Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD CCP-14 INVIAS – Resolución 108 del 26 de enero de 2015
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10
- Especificaciones Técnicas de Construcción INVIAS – 2014.



4 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

El proyecto comprende la pavimentación de una vía vehicular, de aproximadamente 530 metros de longitud. La vía contempla el manejo de aguas lluvias mediante obras de drenaje constituidos por cunetas, cárcamos y rejillas.

Las obras hidráulicas diseñadas en total son de 3 tipos, un cárcamo cerrado con losa superior que cumple la función de andén, altura interna de 0,6 m y ancho interno de 0,50 m; un segundo cárcamo de iguales dimensiones, sin embargo está cerrado superiormente con una rejilla para el ingreso de agua lluvia; finalmente, se diseñó un tercer cárcamo con dimensiones libre de 1,0 de altura y 1,0 m de ancho, que cruza la vía perpendicularmente a nivel de la rasante de la vía, en la cual se dispone de una rejilla para el drenaje de agua.

Adicionalmente, se incluye el diseño de dos rejillas de drenaje para el cárcamo tipo 2 y cárcamo tipo 3, de 0,50 m y 1,0 m de ancho respectivamente.

A continuación, en la Figura 2, Figura 3 y Figura 4 se muestran esquemas isométricos de cada tipo de estructura.

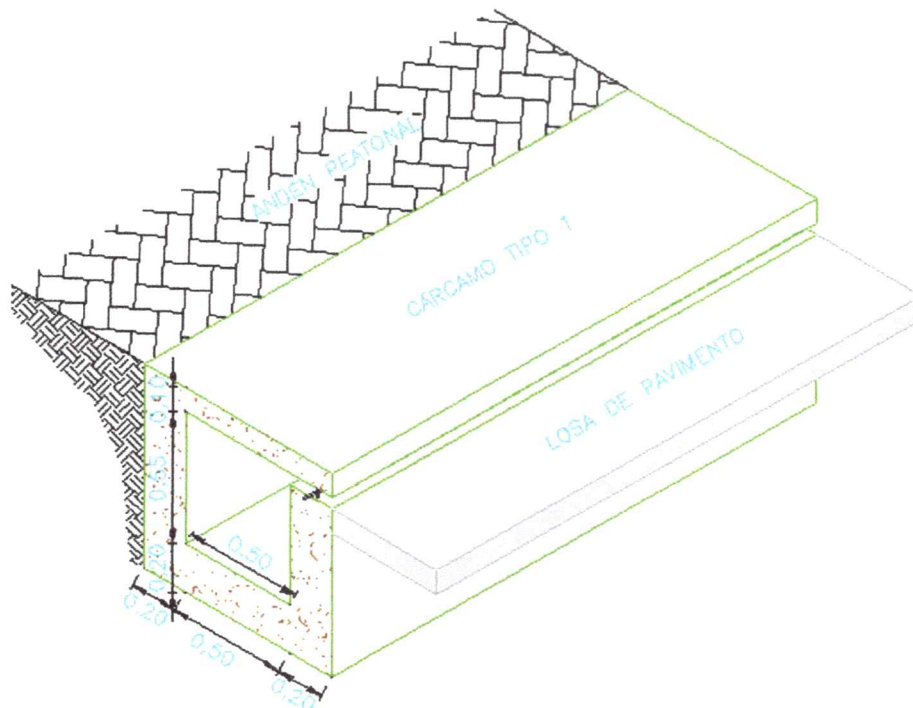


Figura 2: Isométrico, cárcamo tipo 1



Alcaldía
de Sincé

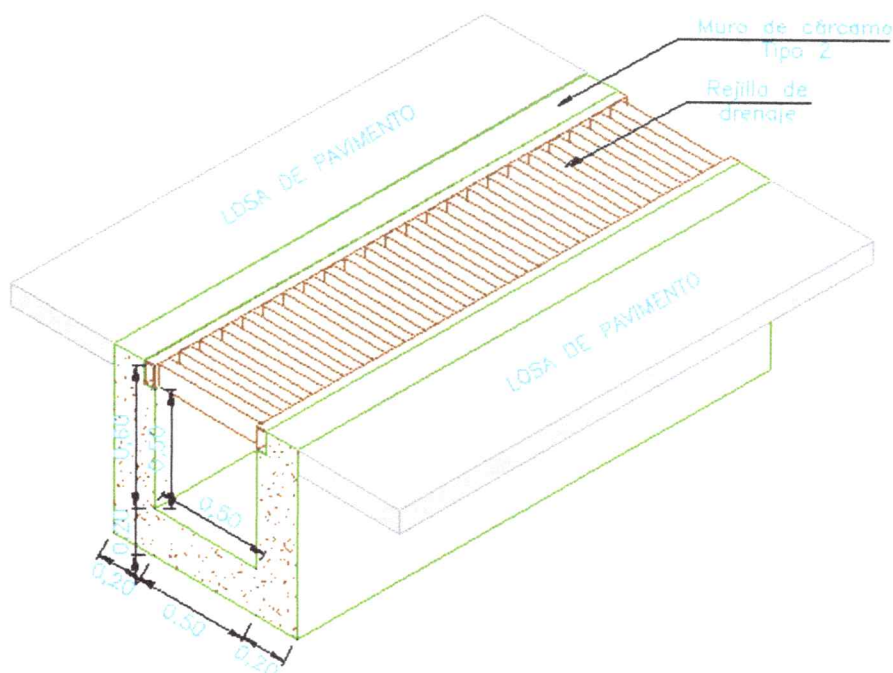


Figura 3: Isométrico, cárcamo tipo 2

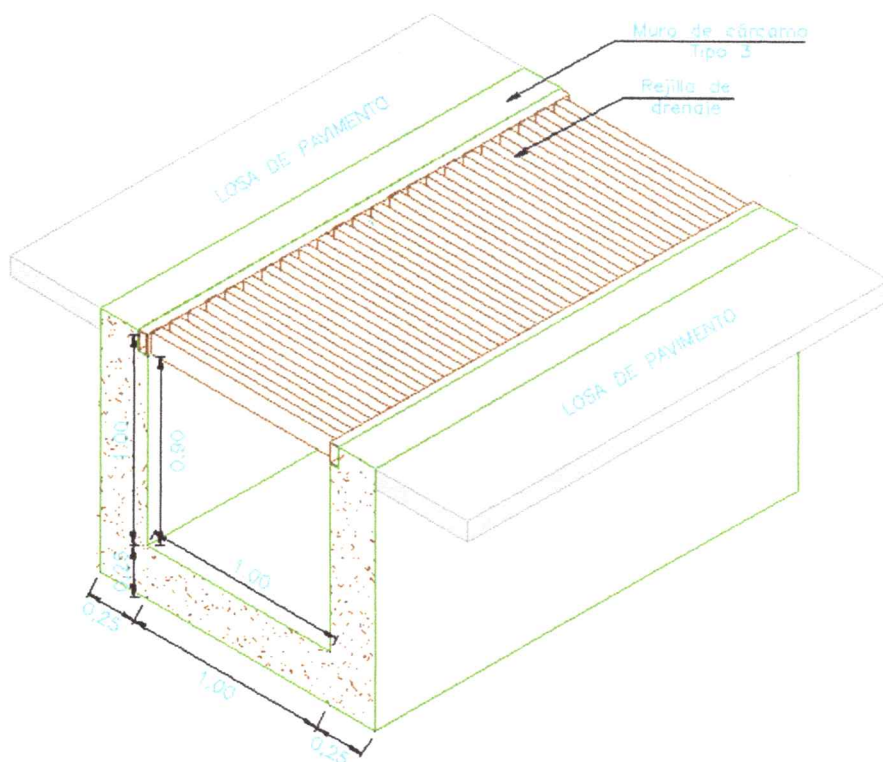


Figura 4: Isométrico, cárcamo tipo 3



5 CALIDAD DE LOS MATERIALES

La calidad de los materiales de las obras son las exigidas por el CCP-2014 y que están dentro del alcance y definición de las Especificaciones Técnicas de Construcción INVIAS-2014 y de la NSR-10.

Los materiales empleados en el diseño de las estructuras fueron:

5.1 CALIDAD DEL CONCRETO

- Concreto para muros y losas:
 - $f'c = 21,0 \text{ MPa (3.000 psi)}$ Resistencia a la compresión
 - $E = 4800\sqrt{f'c} = 21.960 \text{ MPa}$ Módulo de elasticidad
 - $\gamma_c = 24,0 \text{ kN/m}^3$ Peso específico
- Concreto para solados:
 - $f'c = 10,0 \text{ MPa (1.500 psi)}$ Resistencia a la compresión
 - $E = 4800\sqrt{f'c} = 17.960 \text{ MPa}$ Módulo de elasticidad
 - $\gamma_c = 24,0 \text{ kN/m}^3$ Peso específico

5.2 ACERO DE REFUERZO

Se utilizará acero de refuerzo grado 60 según la Norma ASTM, designación A-706 para barras $\geq \varnothing 3/8"$

- Barras de refuerzo para concreto:
 - $F_y = 420 \text{ MPa (60.000 psi)}$ Esfuerzo de fluencia
 - $E = 200.000 \text{ MPa}$ Módulo de elasticidad
 - $\gamma_s = 78,5 \text{ kN/m}^3$ Peso específico

5.3 ACERO ESTRUCTURAL

- Tubería rectangular ASTM-A500 Gr.C para rejillas de drenaje:
 - $F_y = 350 \text{ MPa (50.000 psi)}$ Esfuerzo de fluencia
 - $F_u = 430 \text{ MPa (62.000 psi)}$ Esfuerzo de tracción
 - $E = 200.000 \text{ MPa}$ Módulo de elasticidad
 - $\gamma_a = 78,5 \text{ kN/m}^3$ Peso específico

5.4 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN, DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN

- Cinta Flexible para sello de Juntas $a = 15 \text{ cm}$.



6 PARÁMETROS DE DISEÑO

6.1 PARÁMETROS SÍSMICOS

Los parámetros sísmicos que se utilizaron para el análisis y diseño de las obras civiles, se pueden apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros Sísmicos

PARÁMETRO	VALOR
Departamento	Sucre
Municipio	Sincé
Coeficiente de aceleración pico horizontal del terreno	PGA = 0,15
Coeficiente de Aceleración Espectral Horizontal para un período de vibración de 0.2 segundos	Ss = 0,20
Coeficiente de Aceleración Espectral Horizontal para un período de vibración de 1.0 segundos	S1 = 0,15
Región de amenaza sísmica, según CCP-14	3

6.2 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Los parámetros utilizados en el diseño de las estructuras provienen de un estudio de suelos de la zona, debido a la ausencia de datos detallados, se tomaron los siguientes parámetros, correspondientes a un relleno convencional

Tabla 2: Parámetros Geotécnicos

PARÁMETRO	VALOR
Perfil de suelo	D
Peso unitario del agua	$\gamma_a = 10 \text{ kN/m}^3$
Peso unitario del suelo	$\gamma_s = 21 \text{ kN/m}^3$
Angulo de fricción	30°
Coeficiente de presión lateral en reposo	0,50
Coeficiente de presión lateral activa	0,33
Coeficiente de presión lateral pasiva	3,00
Capacidad portante del suelo de fundación	50 kPa



7 EVALUACIÓN DE CARGAS

Las estructuras se diseñaron para soportar las siguientes cargas y fuerzas de acuerdo con la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14

- DC: Peso de la estructura.
- LL: Peso de las cargas móviles vehicular y peatonal
- IM: Incremento por carga dinámica
- EV: Empujes laterales de tierra.
- WA: Empujes debidos a la lámina de agua de drenaje y al nivel freático.
- LS: Sobrecarga viva.
- EQ: Efectos dinámicos.

7.1 CARGA MUERTA, DC

Como carga muerta se considerará el peso propio de la estructura en su totalidad y los materiales aledaños que soporta. Para la evaluación de la carga muerta se utilizarán las siguientes propiedades de materiales:

- | | | |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| ▪ $\gamma_{\text{conc.}}$ = | 24,0 kN/m ³ | Peso específico del concreto |
| ▪ γ_{acero} = | 78,5 kN/m ³ | Peso específico del acero estructural |
| ▪ γ_{suelo} = | 21,0 kN/m ³ | Peso específico del suelo de relleno |
| ▪ γ_{agua} = | 10,0 kN/m ³ | Peso específico del agua |

7.2 CARGA VIVA VEHICULA Y PEATONAL, LL

Para el diseño de las estructuras se considera la carga viva vehicular de diseño según la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-2014. El camión de diseño, sus pesos por eje y separaciones entre ejes, se presentan en la Figura 5.

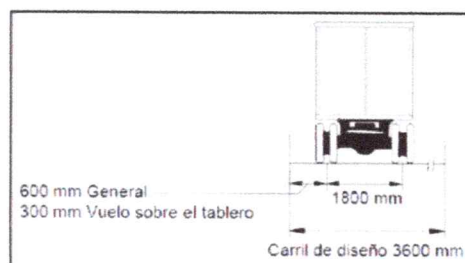
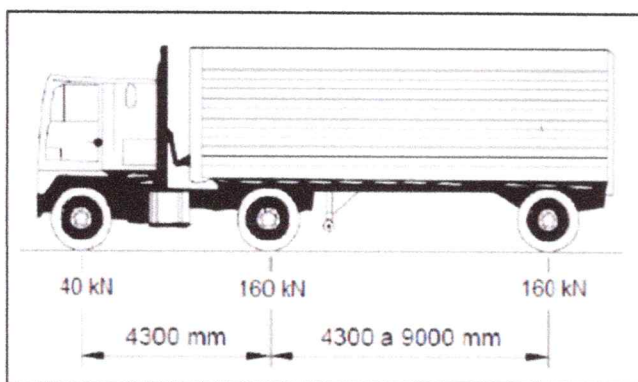


Figura 5: Camión de diseño definido en CCP – 2014



Alcaldía
de Sincé



Así mismo se tendrá en cuenta el efecto de la amplificación por carga dinámica (IM – Impacto) para estructuras enterradas de acuerdo con lo indicado en la Norma CCP-14, el cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$IM = 33 * (1,0 * 4,1 * 10^{-4} * D_E) \geq 0\%$$

Donde D_E : Profundidad mínima de recubrimiento de tierra sobre la estructura (mm).

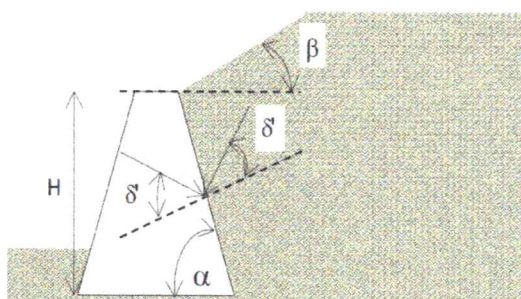
También se considera una carga peatonal de 500 kg/m², aplicables a la losa superior del cárcamo cerrado, que a su vez funciona como andén.

7.3 EMPUJES SOBRE MUROS DE ESTRUCTURAS

Las estructuras, debido a ser enterradas soporta empujes sobre sus muros, estos se dimensionaron para resistir la presión obtenida por la fórmula de Rankine, expresiones dadas en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-2014.

7.3.1 Empuje dinámico del terreno, EQ

El efecto de sismo se tiene en cuenta para el diseño de los muros siguiendo la teoría de Mononobe – Okabe, como se muestra a continuación



k_h = coeficiente horizontal debida al sismo
 k_v = coeficiente vertical debida al sismo
 β = ángulo del terreno con la horizontal
 ϕ' = ángulo de fricción interno
 α = ángulo de la cara del muro y la horizontal
 δ' = ángulo de la fuerza y la normal del muro

$k_h = 0,150$
 $k_v = 0,000$
 $\beta = 0,00^\circ$
 $\phi' = 30,00^\circ$
 $\alpha = 90,00^\circ$
 $\delta' = 0,00^\circ$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 - k_v} \right)$$

$\psi = 8,53^\circ$

$\beta < (\phi' - \psi)$
 $0,00^\circ < (30 - 8,53)$
 $0,000^\circ < 21,47^\circ$

BEN

$$D_A = \left[1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') * \sin(\phi' - \beta - \psi)}{\sin(\alpha - \delta' - \psi) * \sin(\alpha + \beta)} \right]^2$$

$\sin(\phi' + \delta') = \sin(30,00^\circ) = 0,5000$
 $\sin(\phi' - \beta - \psi) = \sin(21,47^\circ) = 0,3660$
 $\sin(\alpha - \delta' - \psi) = \sin(81,47^\circ) = 0,9889$
 $\sin(\alpha + \beta) = \sin(90,00^\circ) = 1,0000$

$D_A = 2,0454$

$$K_{AQ} = \frac{(1 - k_v) * \sin(\alpha + \phi' - \psi)}{D_A * \cos(\psi) * \sin^2(\alpha) * \sin(\alpha - \delta' - \psi)}$$

$1 - k_v = 1 - 0 = 1,0000$
 $\sin^2(\alpha + \phi' - \psi) = \sin^2(111,47^\circ) = 0,8660$
 $\cos(\psi) = \cos(8,53^\circ) = 0,9889$
 $\sin^2(\alpha) = \sin^2(90,00^\circ) = 1,0000$
 $\sin(\alpha - \delta' - \psi) = \sin(81,47^\circ) = 0,9889$

$K_{AQ} = 0,4329$



Alcaldía
de Sincé



$$F_{EQ} = \frac{1}{2} * \gamma_{relleno} * H_{relleno}^2 * (1 - k_v) * K_{AQ}$$

Donde;

F_{EQ} : Fuerza de presión lateral dinámica activa del terreno (kN/m).

k_h : Coeficiente horizontal debida al sismo (PGA, según CCP-14).

k_v : Coeficiente vertical debida al sismo (0, según CCP-14).

K_{AQ} : Coeficiente de presión lateral dinámica activa

$\gamma_{relleno}$: Peso específico del relleno (kN/m³).

$H_{relleno}$: Altura del relleno (m).

Sin embargo, para este proyecto, por tratarse de estructuras totalmente enterradas en ambos extremos, no es necesario aplicar carga dinámica, según CCP-14.

7.3.2 Empuje estático del terreno, EH

La presión de tierras debida al relleno lateral en la estructura es igual a:

$$P_{EQ} = k * \gamma_{relleno} * H_{relleno}$$

Donde;

P_{EQ} : Presión lateral máxima del terreno (kN/m²).

k_o : Coeficiente de presión lateral.

$\gamma_{relleno}$: Peso específico del relleno (kN/m³).

$H_{relleno}$: Altura del relleno (m).

La resultante total de empuje del terreno es igual a:

$$F_{EH} = \frac{1}{2} * k * \gamma_{relleno} * H_{relleno}^2$$

Dónde;

F_{EH} : Resultante total de empuje de agua por metro lineal (kN/m).

7.3.3 Empuje producido por la sobrecarga viva, LS

Sobrecarga equivalente al camión de diseño se determinó de acuerdo al numeral 3.11.6.4 del CCP-2014.

Tabla 3: Altura equivalente de suelo para carga vehicular sobre estribos perpendiculares al tráfico.

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



Tabla 4: Altura equivalente de suelo para carga vehicular sobre muros de contención paralelos al tráfico.

Altura del muro de contención (mm)	h _{eq} (mm)	
	Distancia desde el respaldo del muro al borde del tráfico	
	0,0 mm	300 mm o más
1500	1500	600
3000	1000	600
≥6000	600	600

$$P_{LS} = k * \gamma_{relleno} * h_{eq}$$

Donde;

P_w : Presión sobrecarga sobre el muro (kN/m²).

γ_w : Peso específico del agua (kN/m³).

h_{eq} : Altura equivalente de relleno sobre el muro (m).

La resultante total de empuje de agua es igual a:

$$F_{wA} = \frac{1}{2} * k * \gamma_{relleno} * h_{eq}^2$$

Dónde;

F_{WA} : Resultante total de empuje de sobrecarga por metro lineal (kN/m).

7.3.4 Empuje hidrostático, WA

La presión de agua causada por el nivel freático (N.F) a una altura "h_w" se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$P_w = \gamma_w * h_w$$

Donde;

P_w : Presión de agua a una profundidad h_w (kN/m²).

γ_w : Peso específico del agua (kN/m³).

h_w : Altura del N.F desde la base de la estructura (m).

La resultante total de empuje de agua es igual a:

$$F_{wA} = \frac{1}{2} * \gamma_w * h_w^2$$

Dónde;

F_{WA} : Resultante total de empuje de agua por metro lineal (kN/m).



7.4 COMBINACIONES Y FACTORES DE CARGA

Las cargas y combinaciones de carga son las definidas en CCP-2014 Tabla 3.4.1-1 y Tabla 3.4.1-2.

Tabla 5: Combinaciones y Factores de Carga, CCP-2014.

Estado Límite de la Combinación de carga	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL DM CE BR PL LS	W1	W3	WL	FR	TU	TG	SE	Use uno de estos a la vez				
										EQ	BL	IC	CT	CV
Resistencia I (a menos que se indique)	γ_F	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{FG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia II	γ_F	1.35	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{FG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia III	γ_F	-	1.00	1.40 0	-	1.00	0.50/1.20	γ_{FG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia IV	γ_F	-	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Resistencia V	γ_F	1.35	1.00	0.40 0	1.0	1.00	0.50/1.20	γ_{FG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Evento Extremo I	γ_F	γ_{EQ}	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-
Evento Extremo II	γ_F	0.50	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00
Servicio I	1.00	1.00	1.00	0.30 0	1.0	1.00	1.00/1.20	γ_{FG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Servicio III	1.00	0.80	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	γ_{FG}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio IV	1.00	-	1.00	0.70 0	-	1.00	1.00/1.20	-	1.0	-	-	-	-	-
Fatiga I- Sólo LL, DM & CE	-	1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fatiga I II- Sólo LL, DM & CE	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 6: Factores para cargas permanentes, CCP-2014.

Tipo de Carga, tipo de Cimentación, y Método para Calcular la fricción negativa		Factor de Carga	
		Máximo	Mínimo
DC : Componentes y Accesorios		1.25	0.90
DC : Sólo Resistencia IV		1.50	0.90
DD : Fricción negativa	Pilas, Método α Tomlinson	1.4	0.25
	Pilas, Método λ	1.05	0.30
	Pozos perforados, Método O'Neill and Reese (1999)	1.25	0.35
DW : Superficie de rodadura e instalaciones		1.50	0.65
EH : Presión horizontal de suelo			
• Activa		1.50	0.90
• En reposo		1.35	0.90
• AEP para muros anclados		1.35	N/A
EL : Tensiones residuales de Construcción		1.00	1.00
EV : Presión vertical de suelo			
• Estabilidad general		1.00	N/A
• Muros de Contención y Estribos		1.35	1.00
• Estructuras Rígidas Enterradas		1.30	0.90
• Marcos Rígidos		1.35	0.90
• Estructuras Flexibles Enterradas			
○ Alcantarillas Metálicas y Alcantarillas Armadas Estructurales Corrugadas Profundas		1.5	0.9
○ Alcantarillas Termoplásticas		1.3	0.9
○ Todas las demás		1.95	0.9
ES : Sobrecarga de suelo		1.50	0.75

8 DISEÑO DE LA ESTRUCTURAS

Para el desarrollo de los análisis se construyó un modelo estructural tridimensional de elementos finitos, usando el programa *SAP2000* de la empresa *COMPUTERS AND STRUCTURES*. Los muros y losa se modelaron mediante elementos tipo “frame”, con 1 metro de ancho para los cárcamos, con el objetivo de realizar un análisis por metro lineal. El apoyo se consideró como articulaciones a cada extremo de la obra. Las cargas de la estructura se aplicaron sobre los muros y losas como cargas lineales.

8.1 HIPÓTESIS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE CÁRCAMOS

Para obtener la respuesta más crítica de la estructura frente a las cargas impuestas, se tuvieron en cuenta varias hipótesis y combinaciones de carga. Para ello se consideraron funcionamientos óptimos e inadecuados de la estructura, esto es funcionando a su máxima capacidad o con la celda vacía, tomándose los efectos más críticos sobre las paredes y las placas superior e inferior. Las consideraciones son tres y fueron evaluadas en condiciones de servicio y condiciones últimas, según lo estipulado en el CCP-14.

8.1.1 Hipótesis de Carga 1: Construcción

En este caso se considera que la obra está totalmente construida y se ha colocado el relleno lateral y superior. En este caso la estructura estaría lista para usarse, sin embargo, aún no se deja pasar agua por dentro de él ni se tiene en cuenta la carga viva. Con base en los diagramas de cargas se tiene que:

- $EMP_{ext} \neq 0$
- $EMP_{int} = 0$

Donde EMP_{ext} es el empuje de tierras, nivel freático y/o sobrecargas y EMP_{int} es el empuje de agua debido a la presión interior en la obra y depende de la altura de la lámina de agua. Además, se tiene en cuenta el efecto de las cargas permanente verticales.

8.1.2 Hipótesis de Carga 2: Vacío

En esta consideración la estructura está en funcionamiento y ya hay carga vehicular, pero su interior está seco, es decir que no hay paso de agua internamente. Con base en los diagramas de cargas se tiene que:

- $EMP_{ext} \neq 0$
- $EMP_{int} = 0$

Donde EMP_{ext} es el empuje de tierras, nivel freático y/o sobrecargas y EMP_{int} es el empuje de agua debido a la presión interior en la obra y depende de la altura de la lámina



de agua. En esta hipótesis se tiene en cuenta el efecto de las cargas permanentes verticales y la carga viva.

8.1.3 Hipótesis de Carga 3: Lleno

En este caso la estructura está en uso, pero cuando el caudal de la corriente es máximo. En este caso la obra estaría totalmente llena de agua en su interior; para hacerlo más crítico. Con base en los diagramas de cargas se tiene que:

- $EMP_{ext} \neq 0$
- $EMP_{int} \neq 0$

Donde EMP_{ext} es el empuje de tierras, nivel freático y/o sobrecargas y EMP_{int} es el empuje de agua debido a la presión interior en la obra y depende de la altura de la lámina de agua.

8.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CÁRCAMO TIPO 1

8.2.1 Aplicación de cargas al modelo matemático

A continuación, de la Figura 6 hasta la Figura 10, se muestra la aplicación de cargas al modelo tridimensional realizado para el diseño.

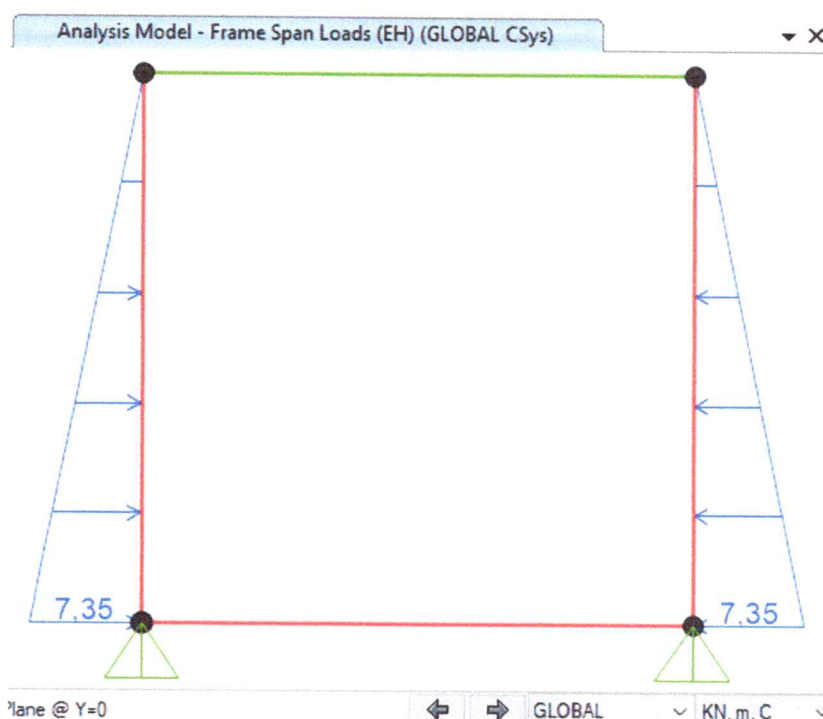


Figura 6: Asignación de empuje de suelo, EH a cárcamo tipo 1



Alcaldía
de Sincé

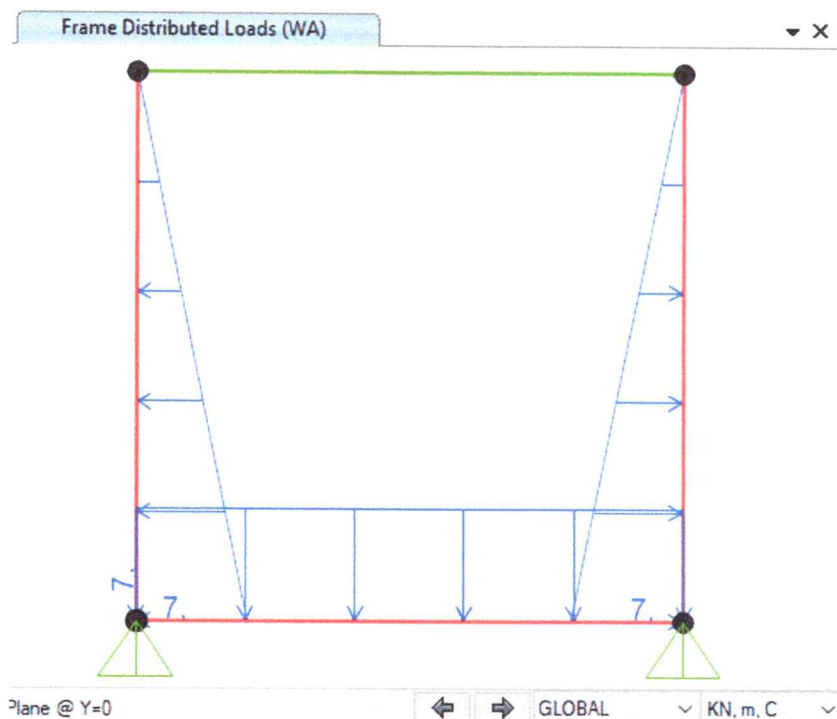


Figura 7: Asignación de empuje hidráulico, WA a cárcamo tipo 1

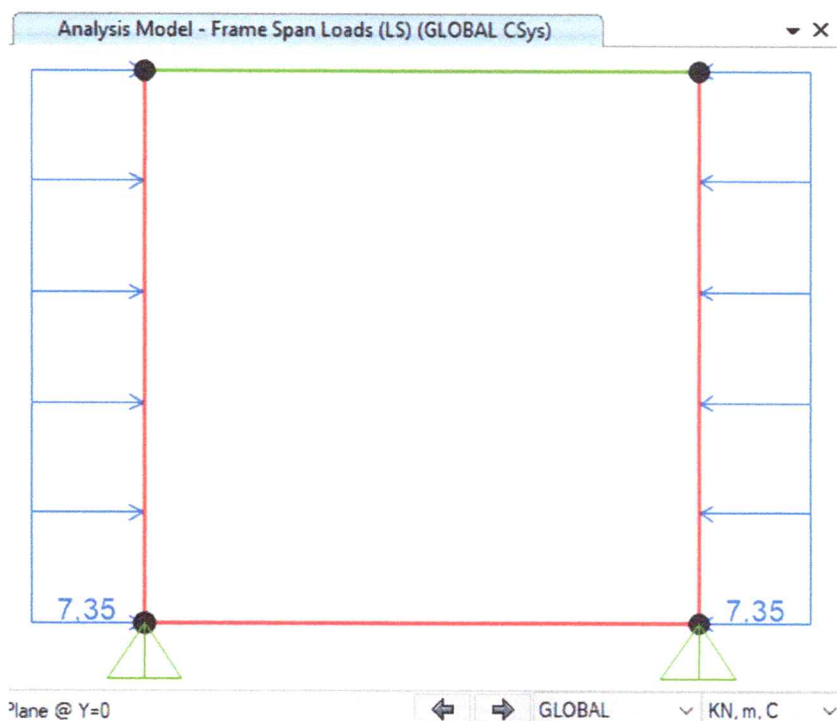


Figura 8: Asignación de empuje por sobrecarga, LS a cárcamo tipo 1



Alcaldía
de Sincé

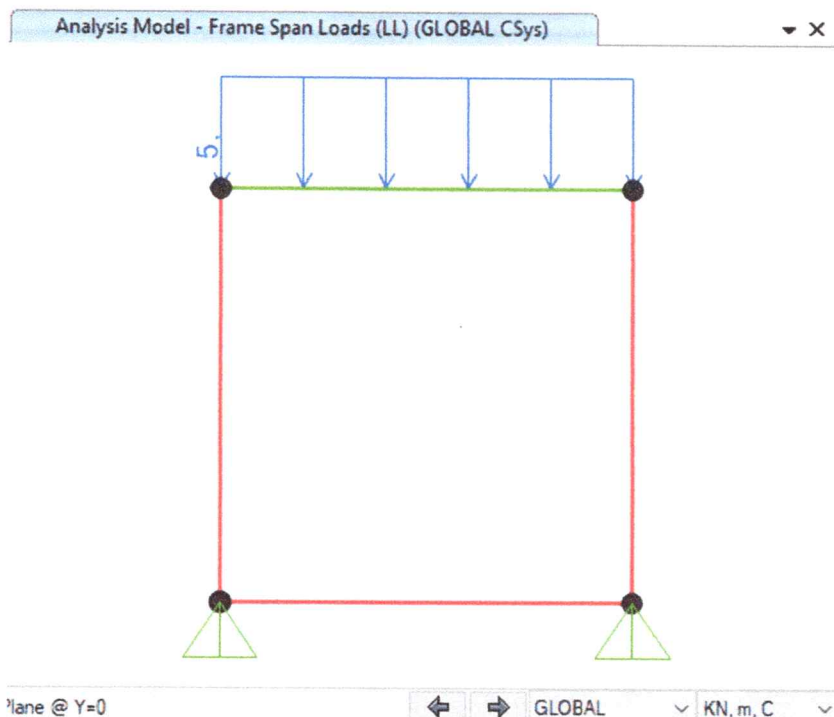


Figura 9: Asignación carga viva peatonal, LL a cárcamo tipo 1

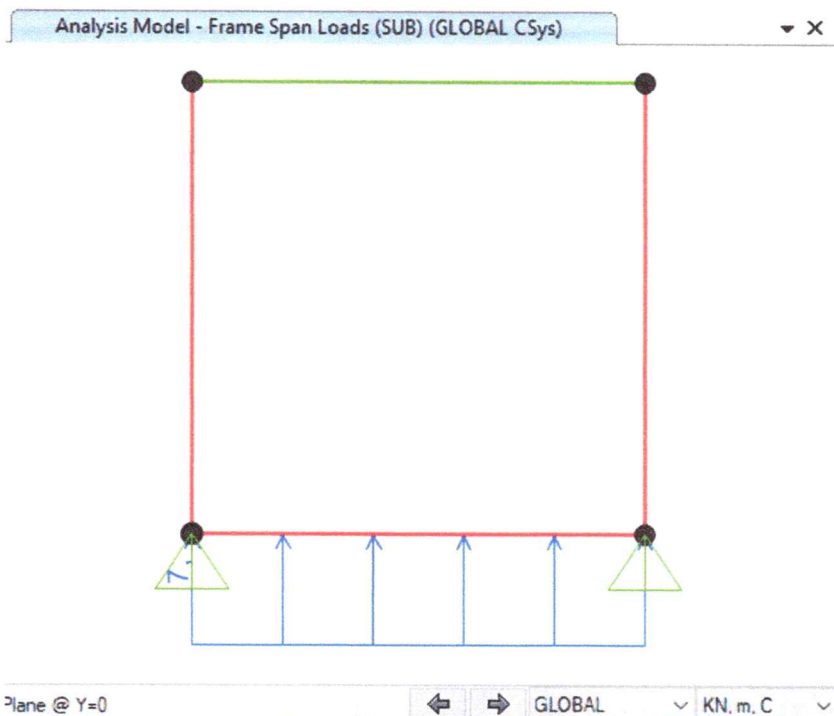


Figura 10: Asignación de empuje de subpresión, SUB a cárcamo tipo 1



8.2.2 Diagramas de fuerza cortante y momento flector

Luego de realizar la asignación de cargas y el análisis estructural, con base en las combinaciones de servicio y diseño mostradas en el capítulo 7.4 del presente documento, se obtienen los siguientes diagramas de solicitaciones.

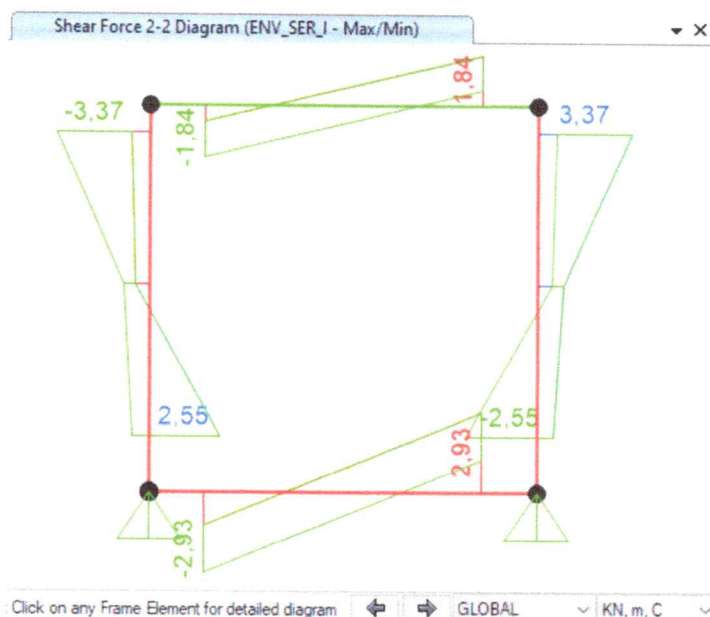


Figura 11: Diagrama de cortante para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 1

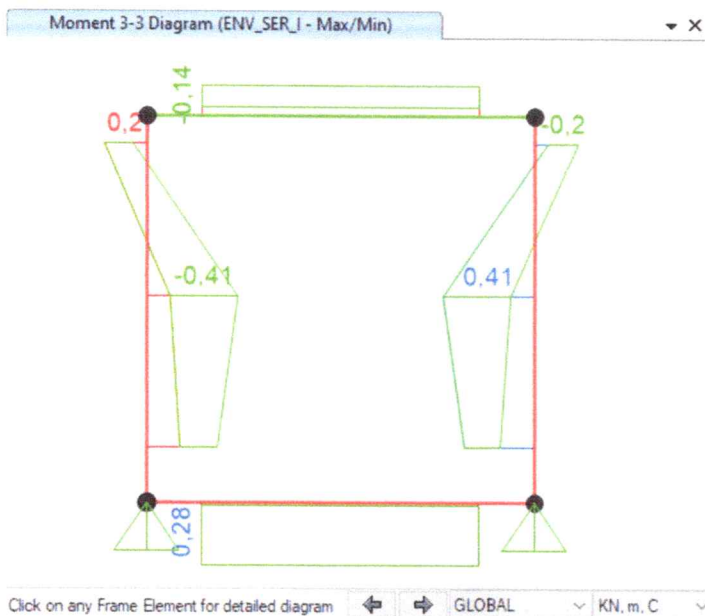


Figura 12: Diagrama de momento para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 1



Alcaldía
de Sincé

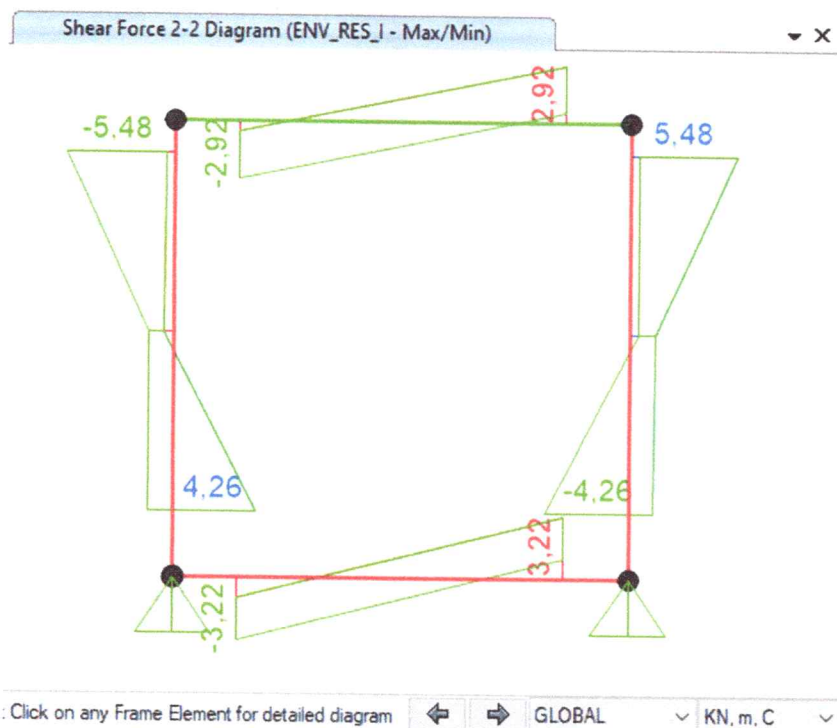


Figura 13: Diagrama de cortante para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 1

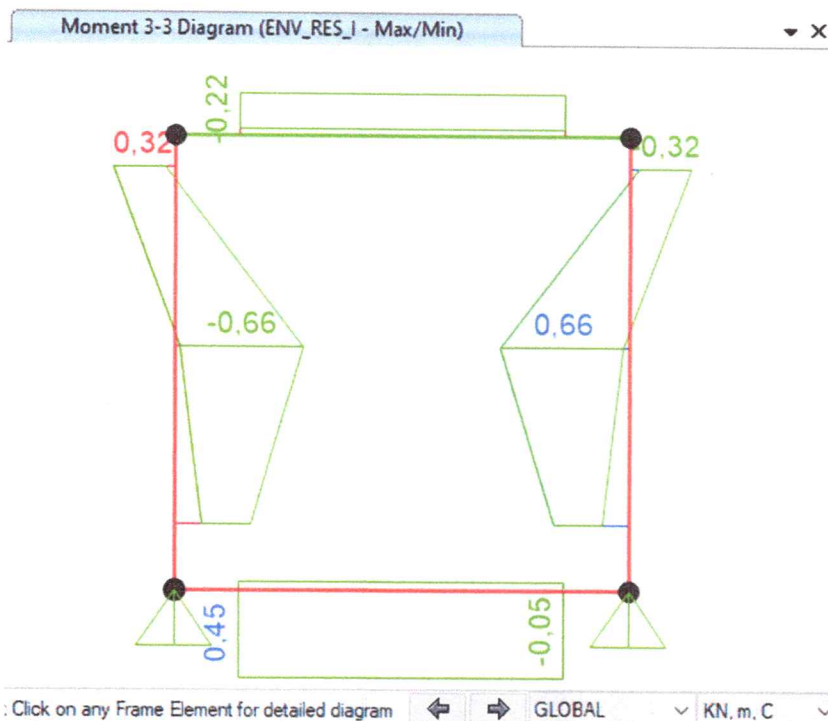


Figura 14: Diagrama de momento para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 1



8.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CÁRCAMO TIPO 2

A continuación, de la Figura 15 hasta la Figura 18, se muestra la aplicación de cargas al modelo tridimensional realizado para el diseño.

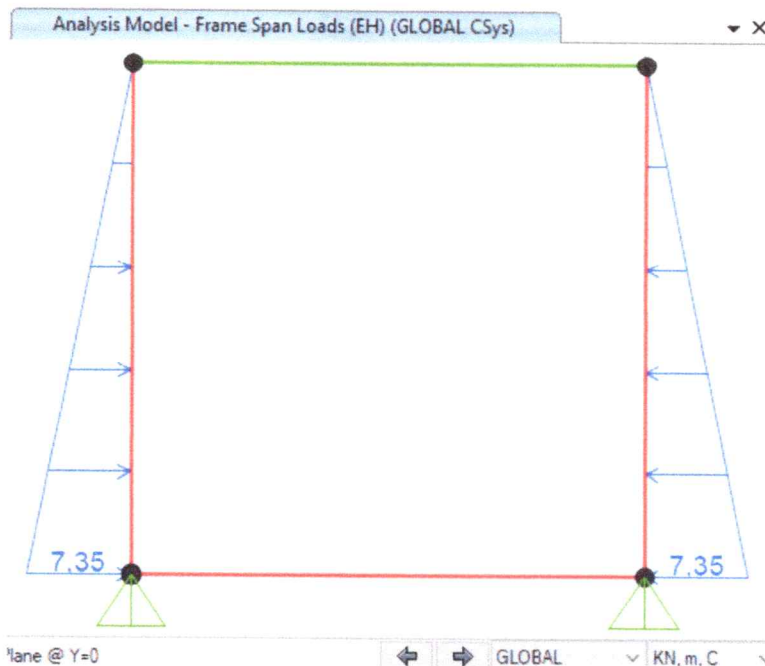


Figura 15: Asignación de empuje de suelo, EH a cárcamo tipo 2

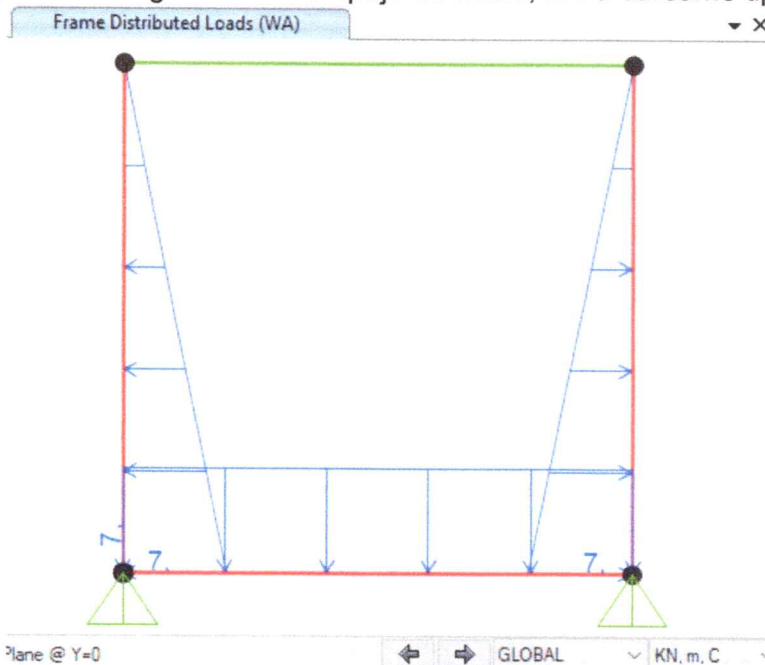


Figura 16: Asignación de empuje hidráulico, WA a cárcamo tipo 2



Alcaldía
de Sincé

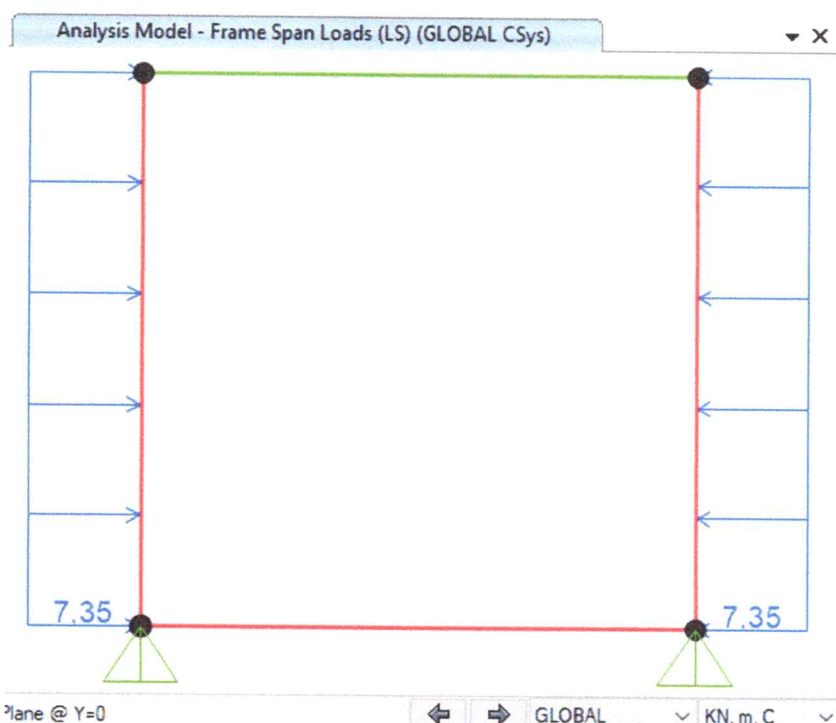


Figura 17: Asignación de empuje por sobrecarga, LS a cárcamo tipo 2

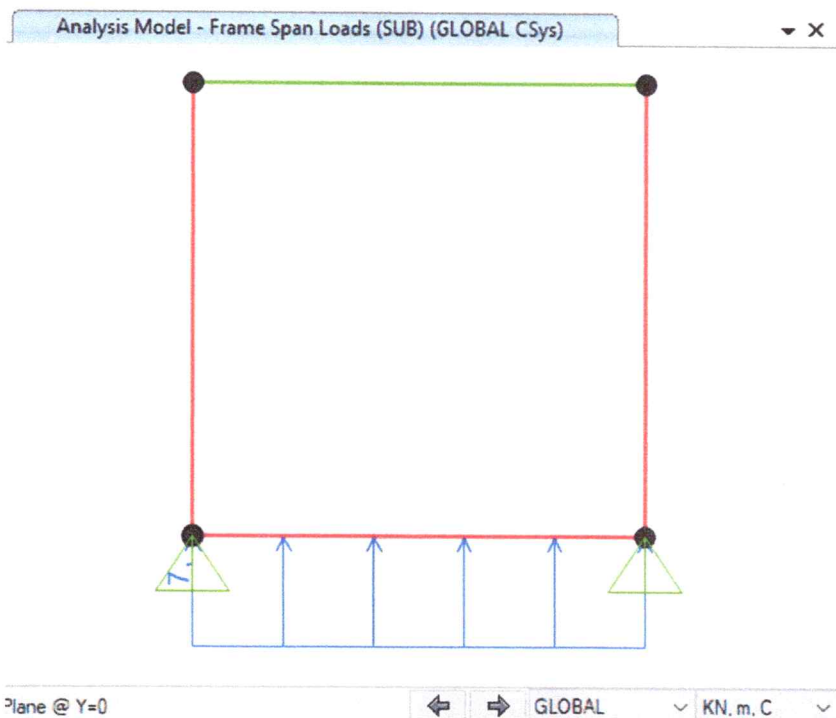


Figura 18: Asignación de empuje de subpresión, SUB a cárcamo tipo 2



Para la asignación de carga viva en este tipo de cárcamo, se calculó el valor aplicable según la norma CCP-14, como se indica a continuación:

Altura de la sección del box, H celda =	0,60	m	
Ancho de la sección del box, B celda =	0,50	m	
No celdas =	1,00		
Espesores internos del box, e_int =	0,20	m	
Espesores externos del box, e_ext =	0,20	m	
Altura Relleno, Hrell =	0,00	mm	< 0,60m
Altura total del box, HBOX =	1,00	m	
Ancho Exterior de la Alcantarilla, BC =	0,90	m	
Longitud del Box, L Box =	6,00	m	
Peso unitario del Suelo, γ_{rell} =	21,00	kN/m ³ (Geotecnia)	
Ángulo de Fricción Interna, ϕ =	30,00	° (Geotecnia)	
Coefficiente de Presión Lateral en Reposo, K_0 =	0,50		

4.6.2.10 Ancho de Franja equivalente para alcantarillas. Trafico Paralelo a la Luz

- S = Luz libre (mm)
 E = Ancho de distribución equivalente perpendicular a la luz (mm)
 E Luz = Longitud de distribución equivalente paralela a la luz (mm)
 LT = Longitud del área de contacto de la llanta paralela a la luz (mm)
 LLDF = Factor de distribución de carga viva según la profundidad del relleno
 H = Profundidad del relleno medida desde el tope de la alcantarilla al topo del pavimento

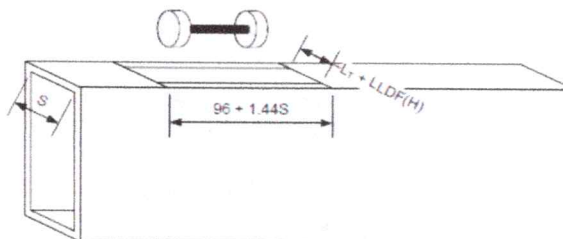


Figura 36.4-2 Distribución de Carga Perpendicular a la luz , Profundidad de Relleno < 0,60 m

(Perpendicular a la luz) E =	2500	mm (4.6.2.10.2-1)
(Paralelo a la Luz) E Luz =	250	mm (4.6.2.10.2-2)
Área rectangular en la profundidad H, ALL =	625433	mm ²
Incremento por carga dinámica, IM =	33	% (3.6.2.2)
Incremento por carga dinámica transmilenio, IM =	33	%
# Camiles =	1	
Factor de Presencia Múltiple, m =	1,20	(Tabla 3.6.1.1.2-1)
Carga Viva Aplicada en la superficie a todas las ruedas que interactúan,	80000	N (3.6.1.2.2) - Camión
Carga Viva Aplicada en la superficie a todas las ruedas que interactúan,	62500	N (3.6.1.2.3) - Tandem
Presión vertical en la corona de carga viva, PL =	0,408	N/mm ² (3.6.1.2.6b-6)-Camión
Presión vertical en la corona de carga viva, PL =	0,319	N/mm ² (3.6.1.2.6b-6)-Tandem

Carga Viva Vehicular, LL=	40,83	Ton/m - Camión
Carga Viva Vehicular, LL=	31,90	Ton/m - Tandem

Carga Viva Vehicular, LL= 408,29 kN/m Gobierna Camión



Alcaldía
de Sincé



Con base en lo anterior se creó el vehículo de diseño para aplicarlo al modelo como carga móvil

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Leading Load	Infinite	0	0	0,0981
Leading Load	Infinite	0	0	0,0981
Fixed Length	0,25		408,29	0,0981

Figura 19: Definición del vehículo de diseño, cárcamo tipo 2

Assign Number	Vehicle Class	Scale Factor	Min Loaded Paths	Max Loaded Paths	Paths Loaded
1	CAMIÓN CCP-14	1	0	1	All

Figura 20: Definición de carga viva como carga móvil, cárcamo tipo 2



8.3.1 Diagramas de fuerza cortante y momento flector

Luego de realizar la asignación de cargas y el análisis estructural, con base en las combinaciones de servicio y diseño mostradas en el capítulo 7.4 del presente documento, se obtienen los siguientes diagramas de solicitaciones, sin mostrar la rejilla superior ya que su diseño se detalla más adelante.

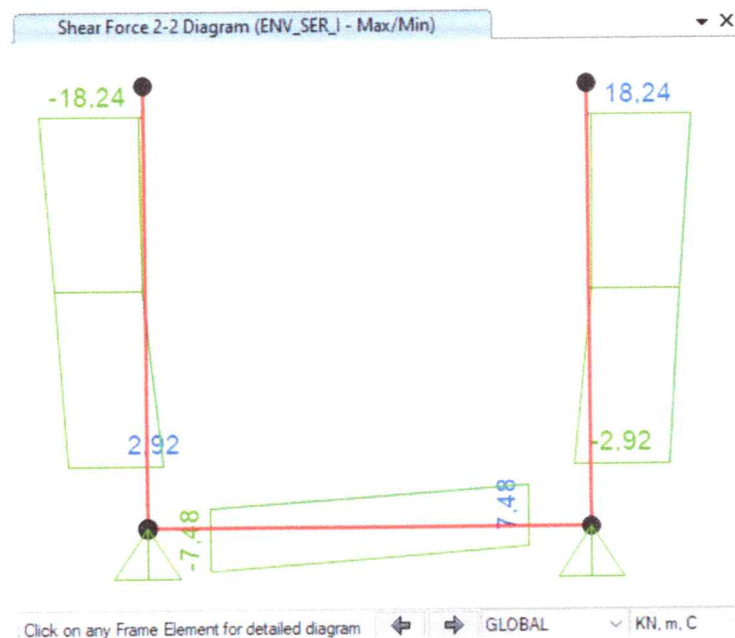


Figura 21: Diagrama de cortante para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 2

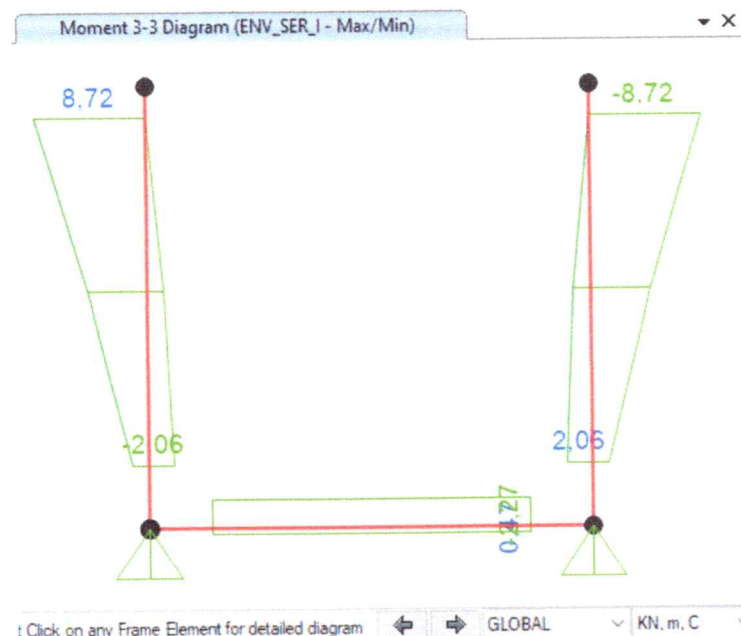
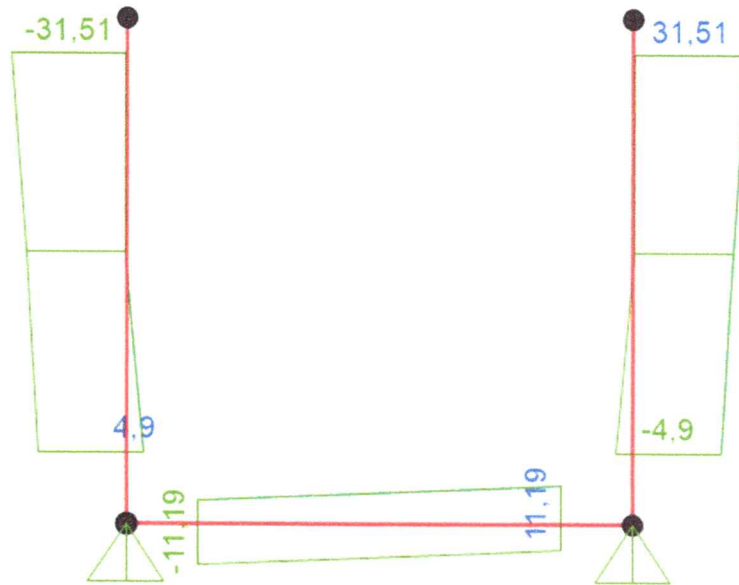


Figura 22: Diagrama de momento para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 2



Shear Force 2-2 Diagram (ENV_RES_I - Max/Min)



Click on any Frame Element for detailed diagram



GLOBAL

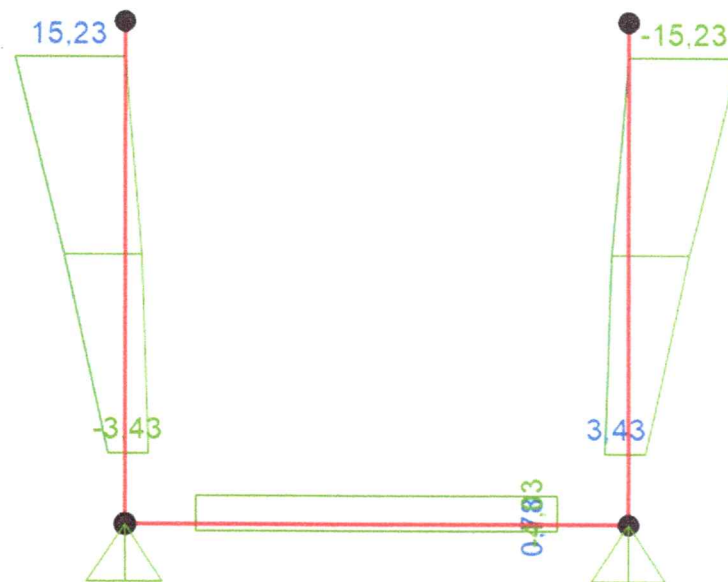


KN, m, C



Figura 23: Diagrama de cortante para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 2

Moment 3-3 Diagram (ENV_RES_I - Max/Min)



Click on any Frame Element for detailed diagram



GLOBAL



KN, m, C



Figura 24: Diagrama de momento para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 2



8.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CÁRCAMO TIPO 3

A continuación, de la Figura 25 hasta la Figura 28, se muestra la aplicación de cargas al modelo tridimensional realizado para el diseño.

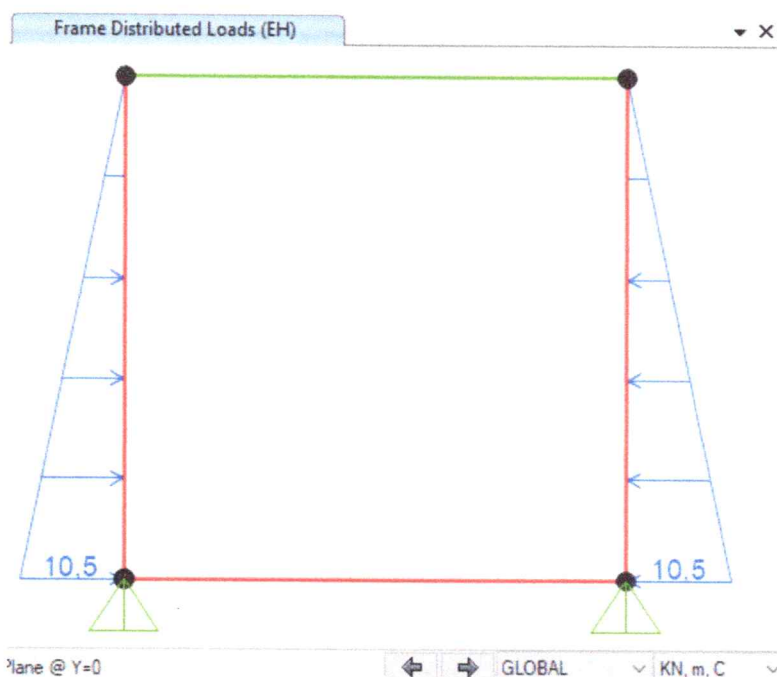


Figura 25: Asignación de empuje de suelo, EH a cárcamo tipo 3

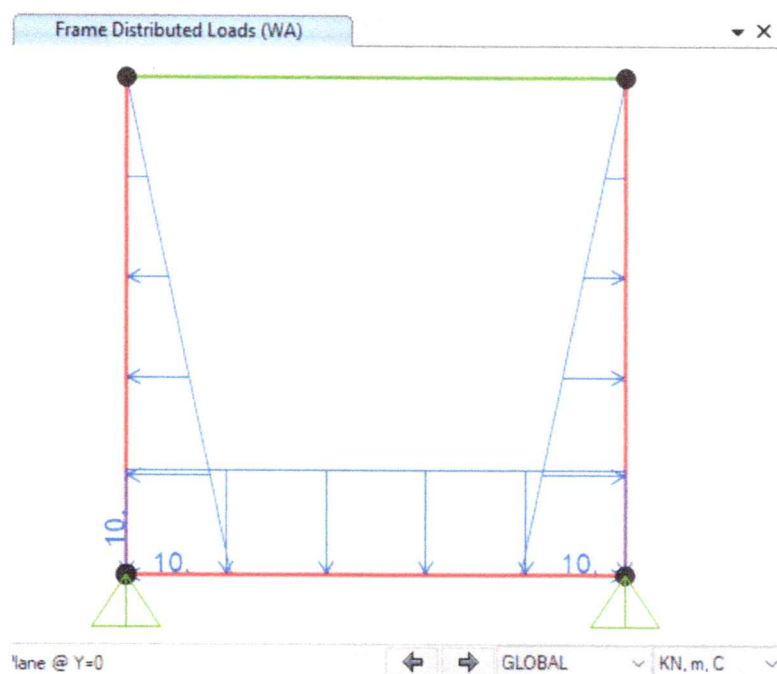


Figura 26: Asignación de empuje hidráulico, WA a cárcamo tipo 3



Alcaldía
de Sincé

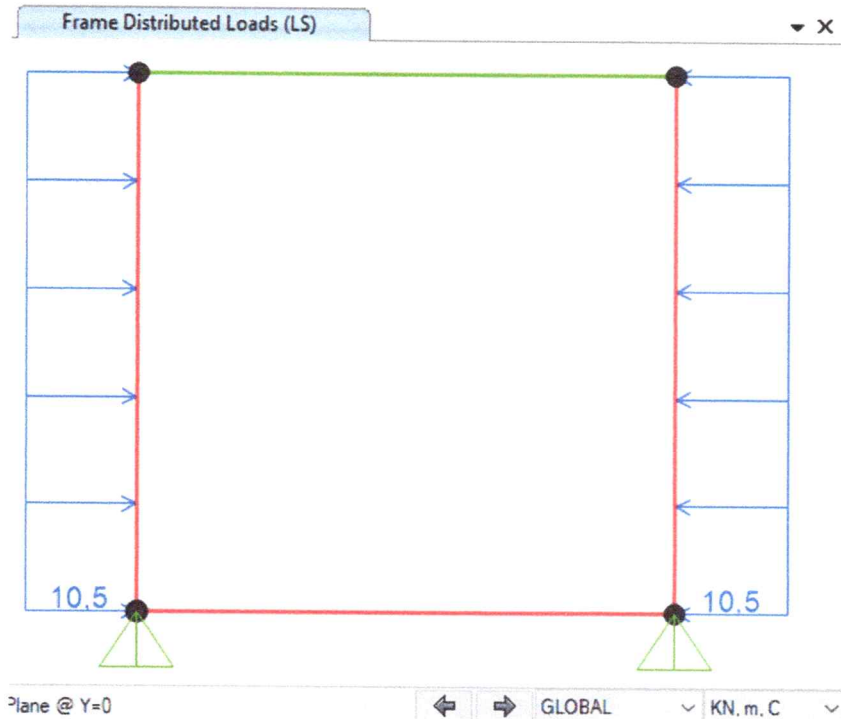


Figura 27: Asignación de empuje por sobrecarga, LS a cárcamo tipo 3

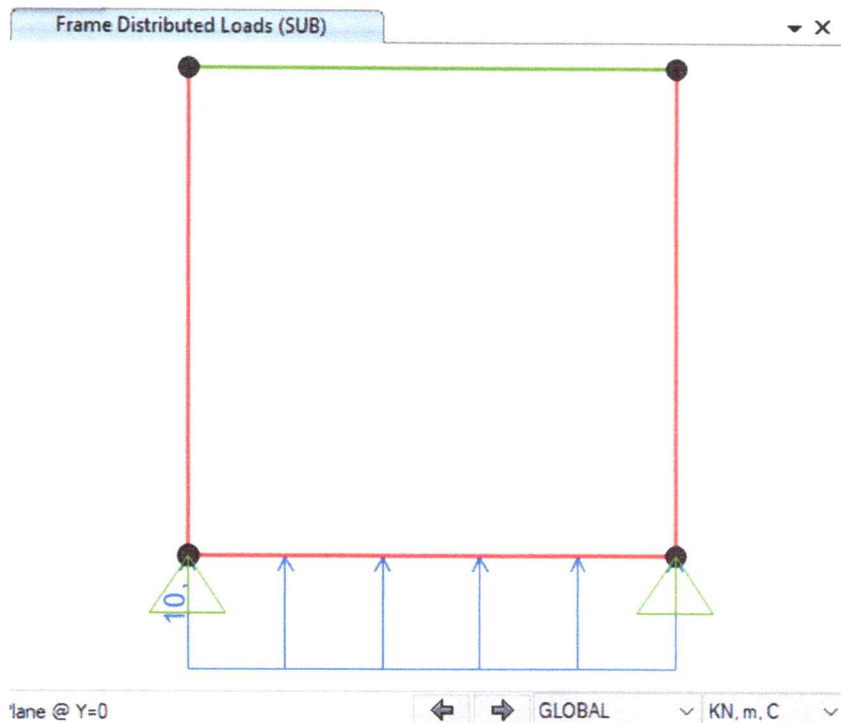


Figura 28: Asignación de empuje de subpresión, SUB a cárcamo tipo 3



Para la asignación de carga viva en este tipo de cárcamo, se calculó el valor aplicable según la norma CCP-14, como se indica a continuación:

Altura de la sección del box, H celda =	1,00	m
Ancho de la sección del box, B celda =	1,00	m
No celdas =	1,00	
Espesores internos del box, e_int =	0,25	m
Espesores externos del box, e_ext =	0,25	m
Altura Relleno, Hrell =	0,00	mm < 0,60m
Altura total del box, HBOX =	1,50	m
Ancho Exterior de la Alcantarilla, BC =	1,50	m
Longitud del Box, L Box =	6,00	m
Peso unitario del Suelo, γ_{rell} =	21,00	kN/m ³ (Geotecnia)
Ángulo de Fricción Interna, ϕ =	30,00	° (Geotecnia)
Coefficiente de Presión Lateral en Reposo, Ko =	0,50	

4.6.2.10 Ancho de Franja equivalente para alcantarillas. Trafico Paralelo a la Luz

- S = Luz libre (mm)
E = Ancho de distribución equivalente perpendicular a la luz (mm)
E Luz = Longitud de distribución equivalente paralela a la luz (mm)
LT = Longitud del área de contacto de la llanta paralela a la luz (mm)
LLDF = Factor de distribución de carga viva según la profundidad del relleno
H = Profundidad del relleno medida desde el tope de la alcantarilla al tope del pavimento

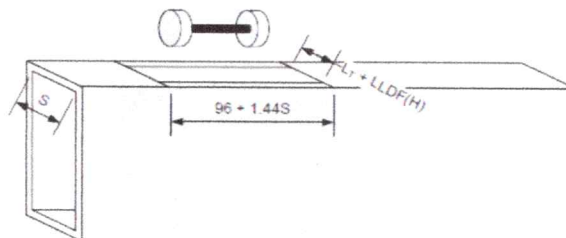


Figura 36.4-2 Distribución de Carga Perpendicular a la luz , Profundidad de Relleno < 0,60 m

(Perpendicular a la luz) E =	2560	mm (4.6.2.10.2-1)
(Paralelo a la Luz) E Luz =	250	mm (4.6.2.10.2-2)
Área rectangular en la profundidad H, ALL =	640443	mm ²
Incremento por carga dinámica, IM =	33	% (3.6.2.2)
Incremento por carga dinámica transmilenio, IM =	33	%
# Cariles =	1	
Factor de Presencia Múltiple, m =	1,20	(Tabla 3.6.1.1.2-1)
Carga Viva Aplicada en la superficie a todas las ruedas que interactúan,	80000	N (3.6.1.2.2) - Camión
Carga Viva Aplicada en la superficie a todas las ruedas que interactúan,	62500	N (3.6.1.2.3) - Tandem
Presión vertical en la corona de carga viva, PL =	0,399	N/mm ² (3.6.1.2.6b-6)-Camión
Presión vertical en la corona de carga viva, PL =	0,312	N/mm ² (3.6.1.2.6b-6)-Tandem

Carga Viva Vehicular, LL=	39,87	Ton/m - Camión
Carga Viva Vehicular, LL=	31,15	Ton/m - Tandem

Carga Viva Vehicular, LL= 398,72 kN/m Gobierna Camión



Alcaldía
de Sincé



Proyectos Integrales

Con base en lo anterior se creó el vehículo de diseño para aplicarlo al modelo como carga móvil

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0.25		398.72	0.0981
Leading Load	Infinite		0	0.0981
Fixed Length	0.25		398.72	0.0981

Figura 29: Definición del vehículo de diseño, cárcamo tipo 3

Assign Number	Vehicle Class	Scale Factor	Min Loaded Paths	Max Loaded Paths	Paths Loaded
1	CAMIÓN CCP-14	1	0	1	A3

Number of Paths Loaded	Reduction Scale Factor
1	1

Figura 30: Definición de carga viva como carga móvil, cárcamo tipo 3



Alcaldía
de Sincé



8.4.1 Diagramas de fuerza cortante y momento flector

Luego de realizar la asignación de cargas y el análisis estructural, con base en las combinaciones de servicio y diseño mostradas en el capítulo 7.4 del presente documento, se obtienen los siguientes diagramas de solicitaciones, sin mostrar la rejilla superior ya que su diseño se detalla más adelante.

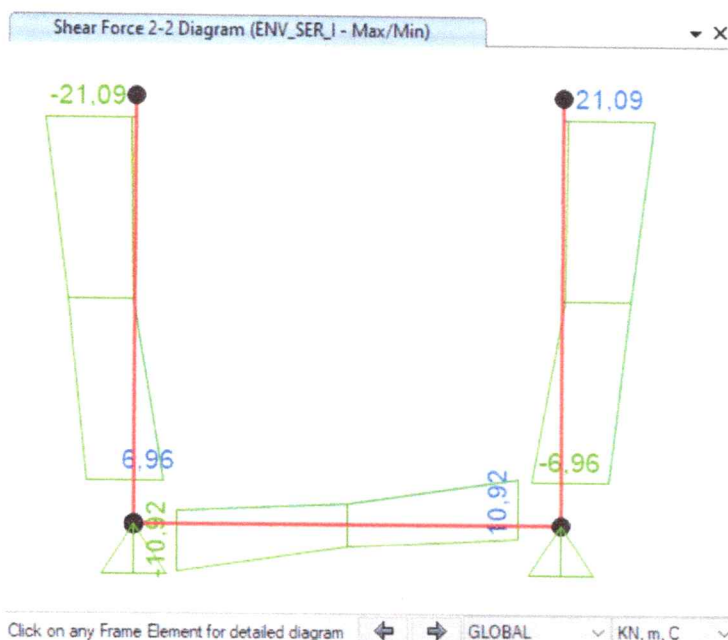


Figura 31: Diagrama de cortante para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 3

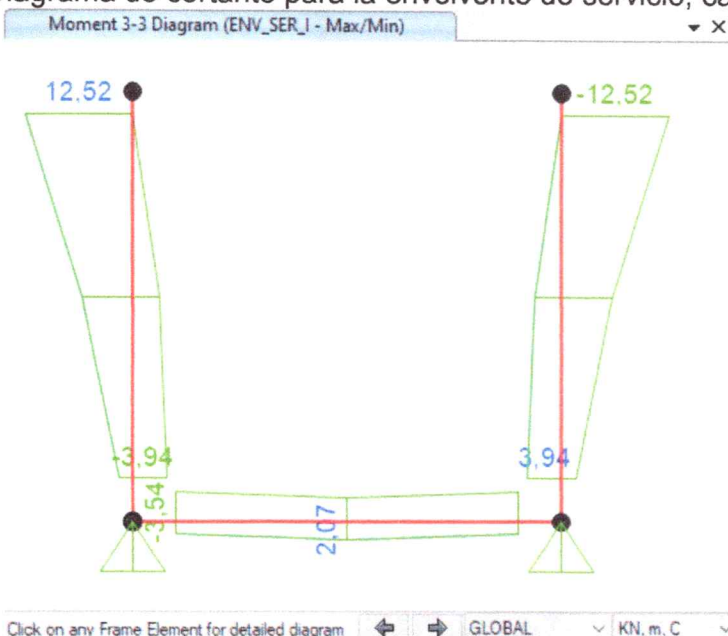


Figura 32: Diagrama de momento para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 3

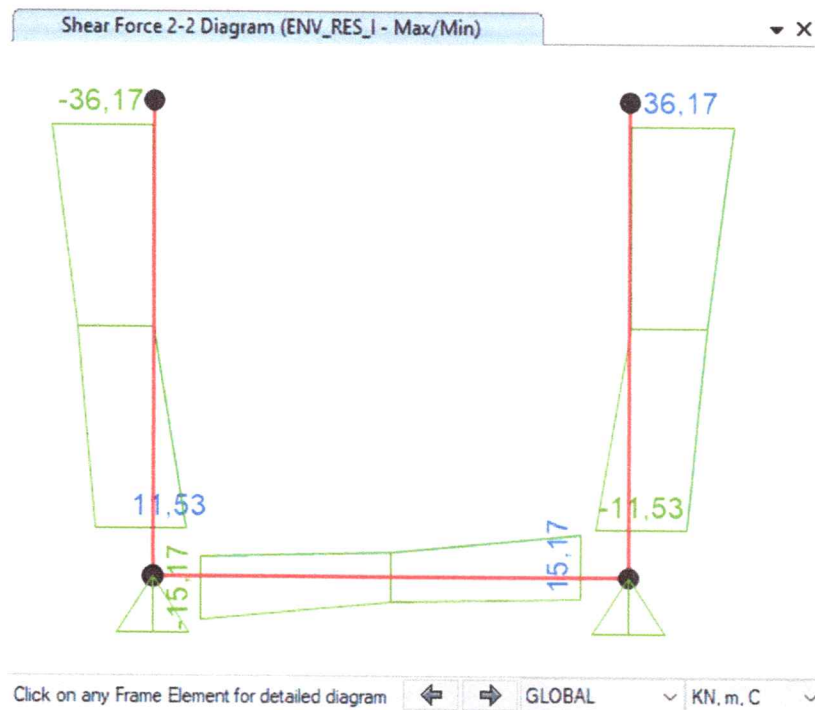


Figura 33: Diagrama de cortante para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 3

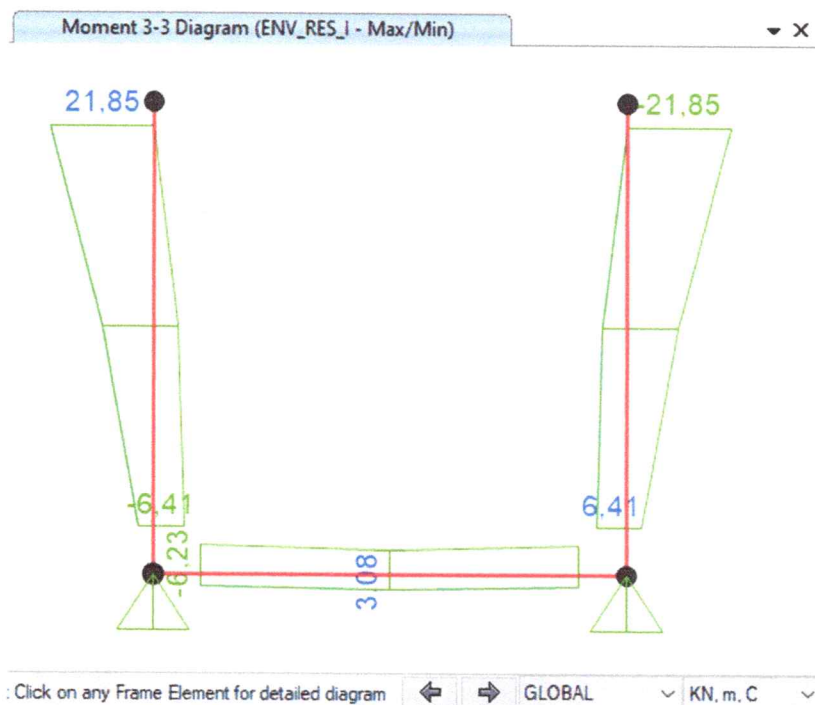


Figura 34: Diagrama de momento para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 3

8.5 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS CÁRCAMOS

Materiales

Concreto $f_c =$	21 MPa
Acero fy (corrugado) =	420 MPa
Acero flejes fy (corrugado) =	420 MPa
ϕ Flexión =	0.90
ϕ cortante =	0.85

Cuánta Mínima de Retración de Fraguado

Separación de juntas de retracción =	6.00 m
Cuánta mínima =	0.0030

Tabla C.23-C.7.12.2.1 - Cuantías Mínimas de Retración de Fraguado y Variación de Temperatura

Requisitos Adicionales

Separación máxima refuerzo =	30 cm
------------------------------	-------

C.23-C.7.12.2.2

Control de Agrietamiento

$$s \leq \frac{123000 * \gamma_e}{\beta_s * f_{ss}} - 2d_c$$

z límite = 30.5 MN/m

fs admisible = 252 MPa para $\phi > 5$

fs admisible = 252 MPa para $\phi < 4$

Ancho tolerable grieta = 0.3 mm

$\beta = 1.35$

Donde:

γ_e = Factor de Exposición (1.00 para exposición clase 1 ó 0.75 para exposición clase 2)

d_c = Espesor del recubrimiento de concreto medido desde la fibra extrema de tracción hasta el centrodel refuerzo de flexión más cercano (mm).

f_{ss} = Esfuerzo de tracción en el refuerzo convencional, en el estado límite de servicio (MPa)

β_s = Relación entre la deformación unitaria a flexión en la cara extrema a tracción y la deformación unitaria en el centroide del refuerzo más cercana a la cara de tracción.

DISEÑO A FLEXIÓN

pmin (Cuantía mínima de refuerzo)	0.0030
pmax (Cuantía máxima de refuerzo)	0.0153

ELEMENTO	Geometría			Momentos			Refuerzo									
	b (cm)	h (cm)	rec (cm)	M _{servicio} (kN.m)	M _U (kN.m)	M _{cr} (kN.m)	M Diseño (kN.m)	φ ref princip al dp (#)	φ fleje o ref inf df (#)	ρ	ρdef	As req. (cm ²)	Separación máxima (cm)	Separación adoptada (cm)	As adoptado (cm ²)	Refuerzo adoptado
Muro izquierdo, Tipo 1	100	20	7.5	0.41	0.66	22.73	0.88	4	4	0.0002	0.0030	3.75	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Muro derecho, Tipo 1	100	20	7.5	0.41	0.66	22.73	0.88	4	4	0.0002	0.0030	3.75	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Losa superior, Tipo 1	100	10	5	0.14	0.22	5.68	0.29	4	4	0.0003	0.0030	1.50	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Losa inferior, Tipo 1	100	20	7.5	0.28	0.45	22.73	0.60	4	4	0.0001	0.0030	3.75	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Muro izquierdo, Tipo 2	100	20	7.5	8.72	15.23	0.00	15.23	4	4	0.0027	0.0030	3.75	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Muro derecho, Tipo 2	100	20	7.5	8.72	15.23	0.00	15.23	4	4	0.0027	0.0030	3.75	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Losa inferior, Tipo 2	100	20	7.5	0.47	0.83	0.00	0.83	4	4	0.0001	0.0030	3.75	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Muro izquierdo, Tipo 3	100	25	7.5	12.52	21.85	0.00	21.85	4	4	0.0020	0.0030	5.25	24.57	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Muro derecho, Tipo 3	100	25	7.5	12.52	21.85	0.00	21.85	4	4	0.0020	0.0030	5.25	24.57	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Losa inferior, Tipo 3	100	25	7.5	2.07	3.08	0.00	3.08	4	4	0.0003	0.0030	5.25	24.57	20	6.45	# 4 c/ 20cm



Alcaldía
de Sincé

CONTROL AGRIETAMIENTO

ELEMENTO	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13
	b (cm)	h (cm)	rec (cm)	M _{servicio} (kN.m)	φ al principio dp (#)	φ fleje o ref inf df (#)	Separación adoptada (cm)	d _c (mm)	f _{es} (MPa)	β s	Separación máx (cm)	Control de Agrietamiento (5.7.3.4 AASHTO-LRFD)
Muro izquierdo, Tipo 1	100	20	7,5	0,41	4	4	20	81,4	5,89	1,98	1038,7	Correcto
Muro derecho, Tipo 1	100	20	7,5	0,41	4	4	20	81,4	5,89	1,98	1038,7	Correcto
Losa superior, Tipo 1	100	10	5	0,14	4	4	20	56,4	5,75	2,84	741,2	Correcto
Losa inferior, Tipo 1	100	20	7,5	0,28	4	4	20	81,4	4,02	1,98	1528,5	Correcto
Muro izquierdo, Tipo 2	100	20	7,5	8,72	4	4	20	81,4	125,27	1,98	33,3	Correcto
Muro derecho, Tipo 2	100	20	7,5	8,72	4	4	20	81,4	125,27	1,98	33,3	Correcto
Losa inferior, Tipo 2	100	20	7,5	0,47	4	4	20	81,4	6,75	1,98	904,0	Correcto
Muro izquierdo, Tipo 3	100	25	7,5	12,52	4	4	20	81,4	124,80	1,69	42,1	Correcto
Muro derecho, Tipo 3	100	25	7,5	12,52	4	4	20	81,4	124,80	1,69	42,1	Correcto
Losa inferior, Tipo 3	100	25	7,5	2,07	4	4	20	81,4	20,63	1,69	336,6	Correcto

REVISIÓN A CORTANTE

5.8.3.3 - Resistencia Nominal del Cortante para Losas y muros: Donde:

$$\phi V_c = 0.083 * \beta * \sqrt{f_c} * b * d_e$$
$$\phi V_c \leq 0.25 * \sqrt{f_c} * b * d_e$$

φ = 0.85 (Tabla 12.5.5-1 Factores de Resistencia para las Estructuras Enterradas, tipo cajón de concreto reforzado colocado in-situ)
β = 2.00
θ = 45° (5.8.3.4.1- Procedimiento simplificado para secciones No Preesforzadas)

Elemento	Geometría					CORTANTE				
	b (cm)	h (cm)	recub (cm)	bv (cm)	d _e (cm)	d _v (cm)	φ V _{c1} (kN)	φ V _{c2} (kN)	φ V _c (kN) adop.	Revisión a cortante
Muro izquierdo, Tipo 1	100,0	20,0	7,5	100,0	11,865	14,4	76,72	115,54	76,7	OK
Muro derecho, Tipo 1	100,0	20,0	7,5	100,0	11,865	14,4	76,72	115,54	76,7	OK
Losa superior, Tipo 1	100,0	10,0	5	100,0	4,365	7,2	28,22	42,51	28,2	OK
Losa inferior, Tipo 1	100,0	20,0	7,5	100,0	11,865	14,4	76,72	115,54	76,7	OK
Muro izquierdo, Tipo 2	100,0	20,0	7,5	100,0	11,865	14,4	76,72	115,54	76,7	OK
Muro derecho, Tipo 2	100,0	20,0	7,5	100,0	11,865	14,4	76,72	115,54	76,7	OK
Losa inferior, Tipo 2	100,0	20,0	7,5	100,0	11,865	14,4	76,72	115,54	76,7	OK
Muro izquierdo, Tipo 3	100,0	25,0	7,5	100,0	16,865	18	109,05	164,23	109,0	OK
Muro derecho, Tipo 3	100,0	25,0	7,5	100,0	16,865	18	109,05	164,23	109,0	OK
Losa inferior, Tipo 3	100,0	25,0	7,5	100,0	16,865	18	109,05	164,23	109,0	OK



8.6 VERIFICACIÓN DE FLOTACIÓN POR SUBPRESIÓN

La verificación de la flotación por esfuerzo de subpresión se realizó para el cárcamo tipo 3, debido a que esta es la estructura más crítica, por ser la que tiene mas relación de volumen vacío con respecto al volumen de la estructura.

γ_w = Peso unitario del agua.

NF = Altura del nivel freático.

L_{box} = Longitud del box culvert.

B = Presión de empuje.

F_B = Fuerza de empuje.

γ_c = Peso unitario del concreto.

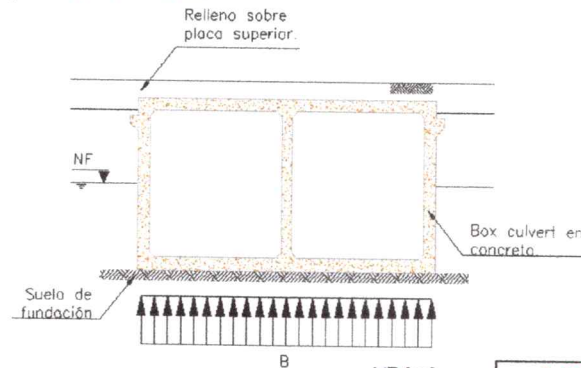
V_{box} = Volumen del box culvert.

W_{box} = Peso del box culvert.

γ_{rel} = Peso unitario del relleno sobre la placa superior.

H_{rel} = Altura del relleno sobre la placa superior.

W_{rel} = Peso del relleno sobre la placa del box culvert.



Datos

γ_w [Ton/m ³] =	1,00
γ_c [Ton/m ³] =	2,40
γ_{rel} [Ton/m ³] =	2,10

NF [m] =	1,00
H_{rel} [m ³ /m] =	0,00

L_{box} [m] =	5,00
V_{box} [m ³] =	4,38

Cálculos

$$B = \gamma_w \times NF$$

$$B \text{ [Ton/m}^2\text{]} = 1,00 \times 1,00 = 1 \text{ Ton/m}^2$$

$$F_B = B \times L_{box}$$

$$F_B \text{ [Ton/m]} = 1,00 \times 5,00 = 5,00 \text{ Ton/m}$$

$$W_{box} = \gamma_c \times V_{box}$$

$$W_{box} \text{ [Ton/m]} = 2,40 \times 4,38 = 10,50 \text{ Ton/m}$$

$$W_{rel} = \gamma_{rel} \times L_{box} \times H_{rel}$$

$$W_{rel} \text{ [Ton/m]} = 2,10 \times 5,00 \times 0,00 = 0,00 \text{ Ton/m}$$

$$W_{total} = W_{box} + W_{rel}$$

$$W_{total} \text{ [Ton/m]} = 0,00 + 10,50 = 10,50 \text{ Ton/m}$$

$$W_{total} \geq F_B$$

$$10,50 \text{ Ton/m} \geq 5,00 \text{ Ton/m} \quad (O.K.)$$



Alcaldía
de Sincé



8.7 VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD ADMISIBLE MÁXIMA

La capacidad admisible del terreno se verificó para el cárcamo tipo 3, al ser la estructura con mayor peso de todas las diseñadas para el proyecto.

Carga total a cimentación para las combinaciones de servicio

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
SER 01	Combination		0	0	16,494
SER 02	Combination		0	0	26,494
SER 03	Combination		0	0	16,494
SER 04	Combination	Max	0	0	26,494
SER 04	Combination	Min	0	0	26,494
SER 05	Combination	Max	0	0	16,494
SER 05	Combination	Min	0	0	16,494

Carga máxima por metro de profundidad 26,49

Información Geométrica del Box

Longitud de la estructura = 5,00 m

Ancho de la estructura = 1,25 m

Area total de la losa inferior = 6,25 m²

Carga total sobre la losa inferior = 132,47 kN

Esfuerzo actuante en el terreno = 21,20 kN/m²

Esfuerzo admisible = 50,00 kN/m²

Esfuerzo Actuante (kN/m2)

Esfuerzo Admisible (kN/m2)

21,20

<

50,00

OK

8.8 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS REJILLAS DE DRENAJE

Para el diseño de la rejilla se aplica la carga de una llanta, con la proyección de la huella de la misma, la cual tiene 50 cm por 25 cm, como se muestra en la Figura 35.

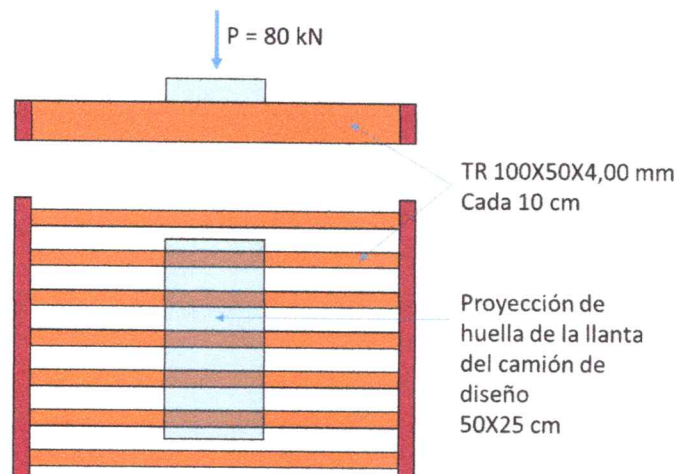


Figura 35: Proyección de huella vehicular sobre rejilla de drenaje

Debido al ancho aferente de la huella, la cual abarca cinco tubos rectangulares, esta carga se divide en este valor y se realiza el chequeo para un solo tubo, con la ayuda del programa SAP200 se aplicó una carga móvil de la siguiente forma.

- $LL + IM = 80 \cdot 1,33/5 = 21,28 \text{ kN}$ Carga puntual amplificada para un solo tubo

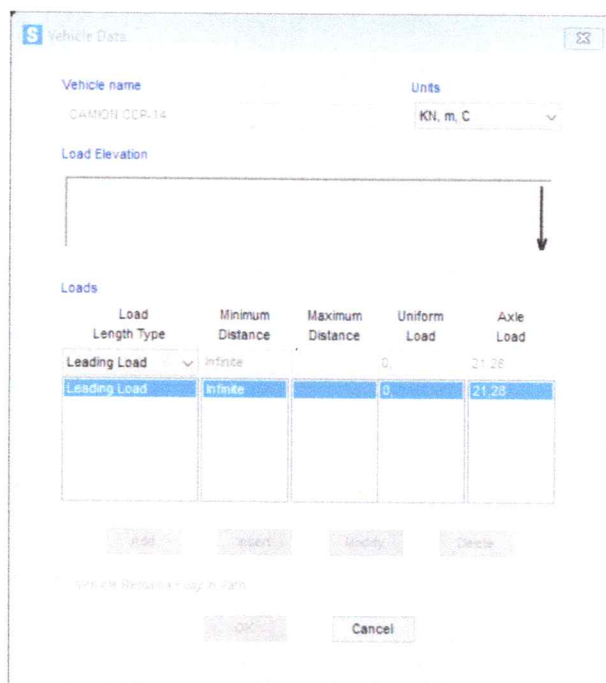


Figura 36: Definición del vehículo de diseño, rejilla de drenaje

Box/Tube Section

Section Name: TR10X50X4

Section Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Display Color: ■

Dimensions

Outside depth (t3) : 0,1

Outside width (t2) : 0,05

Flange thickness (tf) : 4,000E-03

Web thickness (tw) : 4,000E-03

Section

Material: A500GrC

Property Modifiers: [Set Modifiers...](#)

Properties: [Section Properties...](#), [Time Dependent Properties...](#)

[OK](#) [Cancel](#)

Figura 37: Definición de la sección de diseño, rejilla de drenaje

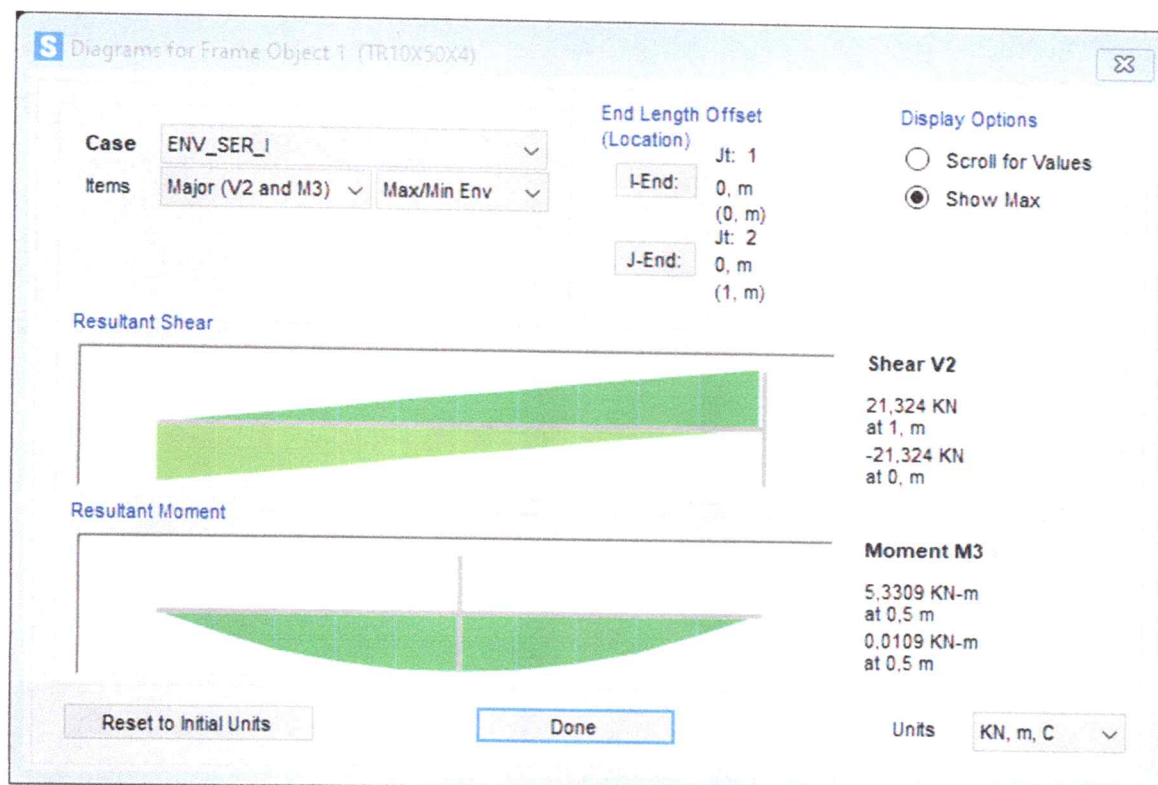


Figura 38: Diagramas de corte y momento, rejilla de drenaje



Alcaldía
de Sincé



A continuación, en la Figura 39 se presentan los valores de los índices de capacidad demanda de la tubería para la rejilla obtenidos mediante el programa SAP2000. Se observa que los índices capacidad demanda de los elementos no superan la unidad, siendo igual a 0,82, lo que indica una optimización en el proceso de diseño.

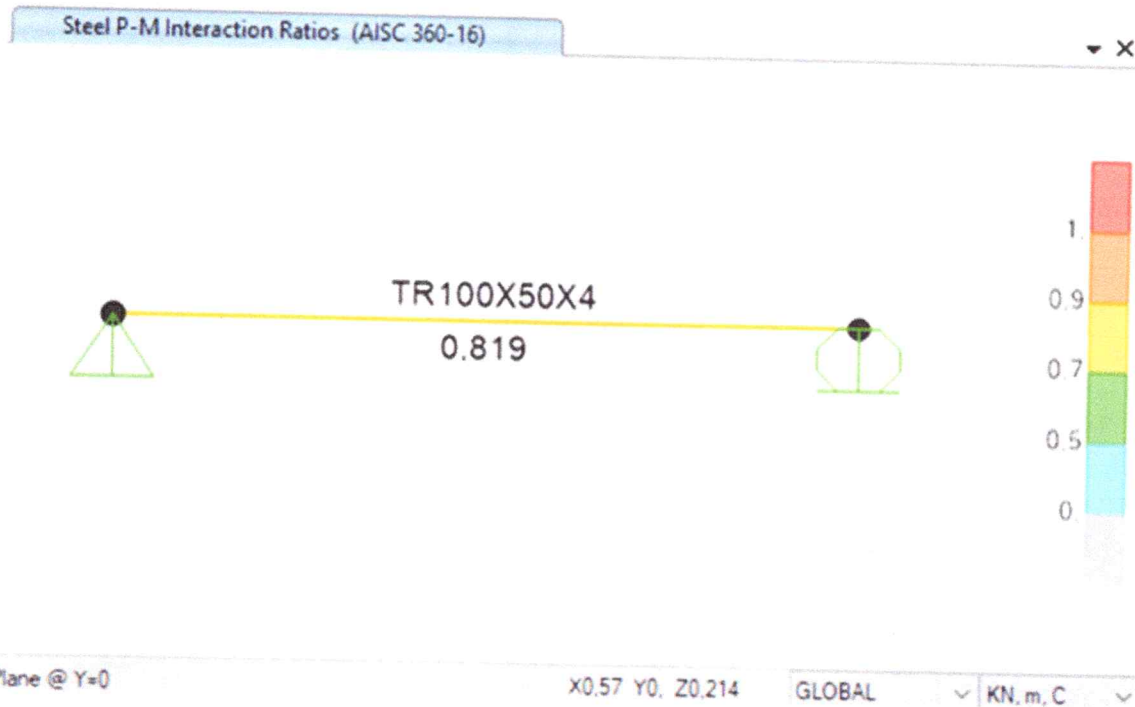


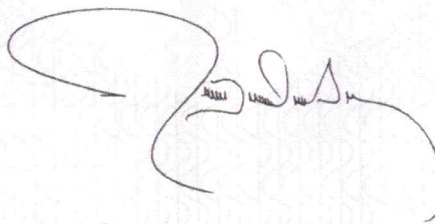
Figura 39: Índice de sobrefuerzo de diseño, rejilla de drenajes

**CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA**

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que LUIS FELIPE MONTES PADILLA, identificado(a) con Cedula de Ciudadanía 1102856942, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 22202-316659 desde el 20 de Noviembre de 2015, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 1308.
2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.
3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**
4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.
5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los dieciseis (16) días del mes de Julio del año dos mil veinticinco (2025).



Rubén Darío Ochoa Arbeláez

Firma del titular (*)

(*) Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado.
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.



Alcaldía
de Sincé



PAVIMENTACION EN CONCRETO RIGIDO DE LA CALLE 6,
CARRERA 1A Y CARRERA 1B DEL BARRIO SAN MARTIN
EN EL MUNICIPIO DE SINCÉ, SUCRE

MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL DE OBRAS HIDRÁULICAS

MC-EST-00520

REVISIÓN RA

YAMID SANTIAGO MONTENEGRO RIOS

Ingeniero Civil

Esp. Análisis y Diseño de Estructuras

M.P.: 22202-296866 COR

Revisión	Modificaciones	Fecha
A	Emitido para comentarios del Cliente	25-06-2025

Elaboración - Revisión - Aprobación

Revisión	Diseñador:		Revisor:		Interventor:	
	Nombre	Firma	Nombre	Firma	Nombre	Firma
A	Y.M.R.		N/A		N/A	

Los derechos de autor de este documento son de del diseñador estructural, quien queda exonerado de toda responsabilidad si este documento es alterado o modificado. No se autoriza su empleo o reproducción total o parcial con fines diferentes al contratado.



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	8
3	CÓDIGOS Y REGLAMENTOS	8
4	DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS	9
5	CALIDAD DE LOS MATERIALES	11
5.1	CALIDAD DEL CONCRETO	11
5.2	ACERO DE REFUERZO.....	11
5.3	ACERO ESTRUCTURAL	11
5.4	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN, DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN.....	11
6	PARÁMETROS DE DISEÑO	12
6.1	PARÁMETROS SÍSMICOS.....	12
6.2	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS.....	12
7	EVALUACIÓN DE CARGAS.....	13
7.1	CARGA MUERTA, DC	13
7.2	CARGA VIVA VEHICULA Y PEATONAL, LL	13
7.3	EMPUJES SOBRE MUROS DE ESTRUCTURAS.....	14
7.3.1	Empuje dinámico del terreno, EQ.....	14
7.3.2	Empuje estático del terreno, EH	15
7.3.3	Empuje producido por la sobrecarga viva, LS	15
7.3.4	Empuje hidrostático, WA	16
7.4	COMBINACIONES Y FACTORES DE CARGA	17
8	DISEÑO DE LA ESTRUCTURAS.....	18
8.1	HIPÓTESIS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE CÁRCAMOS	18
8.1.1	Hipótesis de Carga 1: Construcción	18
8.1.2	Hipótesis de Carga 2: Vacío	18
8.1.3	Hipótesis de Carga 3: Lleno	19
8.2	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CÁRCAMO TIPO 1	19
8.2.1	Aplicación de cargas al modelo matemático.....	19
8.2.2	Diagramas de fuerza cortante y momento flector	22



Alcaldía
de Sincé



8.3	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CÁRCAMO TIPO 2	24
8.3.1	Diagramas de fuerza cortante y momento flector	28
8.4	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CÁRCAMO TIPO 3	30
8.4.1	Diagramas de fuerza cortante y momento flector	34
8.5	DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS CÁRCAMOS	36
8.6	VERIFICACIÓN DE FLOTACIÓN POR SUBPRESIÓN	38
8.7	VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD ADMISIBLE MÁXIMA.....	39
8.8	DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS REJILLAS DE DRENAJE	40



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización general del proyecto	8
Figura 2: Isométrico, cárcamo tipo 1	9
Figura 3: Isométrico, cárcamo tipo 2	10
Figura 4: Isométrico, cárcamo tipo 3	10
Figura 5: Camión de diseño definido en CCP – 2014	13
Figura 6: Asignación de empuje de suelo, EH a cárcamo tipo 1	19
Figura 7: Asignación de empuje hidráulico, WA a cárcamo tipo 1	20
Figura 8: Asignación de empuje por sobrecarga, LS a cárcamo tipo 1	20
Figura 9: Asignación carga viva peatonal, LL a cárcamo tipo 1	21
Figura 10: Asignación de empuje de subpresión, SUB a cárcamo tipo 1	21
Figura 11: Diagrama de cortante para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 1	22
Figura 12: Diagrama de momento para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 1	22
Figura 13: Diagrama de cortante para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 1	23
Figura 14: Diagrama de momento para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 1	23
Figura 15: Asignación de empuje de suelo, EH a cárcamo tipo 2	24
Figura 16: Asignación de empuje hidráulico, WA a cárcamo tipo 2	24
Figura 17: Asignación de empuje por sobrecarga, LS a cárcamo tipo 2	25
Figura 18: Asignación de empuje de subpresión, SUB a cárcamo tipo 2	25
Figura 19: Definición del vehículo de diseño, cárcamo tipo 2	27
Figura 20: Definición de carga viva como carga móvil, cárcamo tipo 2	27
Figura 21: Diagrama de cortante para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 2	28
Figura 22: Diagrama de momento para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 2	28
Figura 23: Diagrama de cortante para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 2	29
Figura 24: Diagrama de momento para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 2	29
Figura 25: Asignación de empuje de suelo, EH a cárcamo tipo 3	30
Figura 26: Asignación de empuje hidráulico, WA a cárcamo tipo 3	30
Figura 27: Asignación de empuje por sobrecarga, LS a cárcamo tipo 3	31
Figura 28: Asignación de empuje de subpresión, SUB a cárcamo tipo 3	31
Figura 29: Definición del vehículo de diseño, cárcamo tipo 3	33
Figura 30: Definición de carga viva como carga móvil, cárcamo tipo 3	33
Figura 31: Diagrama de cortante para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 3	34
Figura 32: Diagrama de momento para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 3	34
Figura 33: Diagrama de cortante para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 3	35
Figura 34: Diagrama de momento para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 3	35
Figura 35: Proyección de huella vehicular sobre rejilla de drenaje	40
Figura 36: Definición del vehículo de diseño, rejilla de drenaje	40
Figura 37: Definición de la sección de diseño, rejilla de drenaje	41



**Alcaldía
de Sincé**



Figura 38: Diagramas de corte y momento, rejilla de drenaje	41
Figura 39: Índice de sobreesfuerzo de diseño, rejilla de drenajes	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros Sísmicos	12
Tabla 2: Parámetros Geotécnicos	12
Tabla 3: Altura equivalente de suelo para carga vehicular sobre estribos perpendiculares al tráfico	15
Tabla 4: Altura equivalente de suelo para carga vehicular sobre muros de contención paralelos al tráfico.	16
Tabla 5: Combinaciones y Factores de Carga, CCP-2014.....	17
Tabla 6: Factores para cargas permanentes, CCP-2014.	17



**Alcaldía
de Sincé**



1 INTRODUCCIÓN

Este documento contiene los análisis y memorias de cálculo estructurales desarrolladas para la elaboración de los planos para construcción de las obras de drenaje hidráulico, requeridas para el proyecto de “PAVIMENTACIÓN EN CONCRETO RÍGIDO DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE SINCÉ. INTERVENCIÓN TRAMO 7(CALLE 11 ENTRE CARRERA 18 Y CARRERA 14)”. Las obras hidráulicas se encuentran en una vía del municipio de Sincé, departamento de Sucre. En algunas zonas las estructuras deben cumplir la función de paso vehicular elevado sobre el flujo de drenaje, según el diseño hidrológico e hidráulico.

Se incluye tanto la normatividad aplicada como la metodología y procedimiento que se siguió, para la elaboración de los modelos que permitieron analizar las diferentes combinaciones de carga tanto estática como dinámica, durante construcción y operación y así lograr un óptimo dimensionamiento con su respectivo reforzamiento en todos los elementos que componen las estructuras aquí presentadas y justificar todo lo indicado en los planos para su debida construcción.



2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se localiza en el casco urbano, del municipio de Sincé, del departamento de Sucre. El municipio de Sincé está localizado en la subregión de La Sabana, en el centro departamento. Limita al norte, con los municipios de San Pedro, Los Palmitos y San Juan de Betulia; al oeste, con el municipio de Buenavista; al sur, con los municipios de San Benito Abad y Galeras; y al occidente con los municipios del Roble y Corozal.

Las obras hidráulicas se encuentran sobre una vía del casco urbano del municipio, específicamente en la calle 11 entre la carrera 14 y la carrera 18. En la siguiente imagen se muestra la localización general del proyecto.

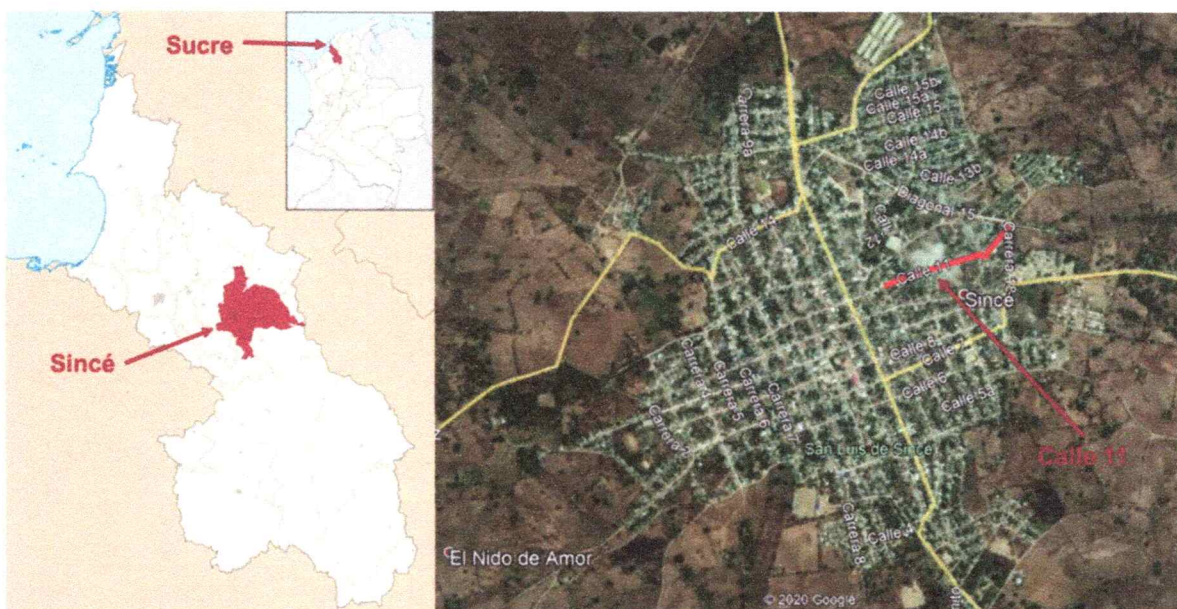


Figura 1: Localización general del proyecto

3 CÓDIGOS Y REGLAMENTOS

Las estructuras se diseñaron cumpliendo con lo establecido en las siguientes normas, códigos y/o reglamentos de diseño y construcción aplicables en el desarrollo de los diseños estructurales de este proyecto.

- Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD CCP-14 INVIAS – Resolución 108 del 26 de enero de 2015
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10
- Especificaciones Técnicas de Construcción INVIAS – 2014.



4 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

El proyecto comprende la pavimentación de una vía vehicular, de aproximadamente 530 metros de longitud. La vía contempla el manejo de aguas lluvias mediante obras de drenaje constituidos por cunetas, cárcamos y rejillas.

Las obras hidráulicas diseñadas en total son de 3 tipos, un cárcamo cerrado con losa superior que cumple la función de andén, altura interna de 0,6 m y ancho interno de 0,50 m; un segundo cárcamo de iguales dimensiones, sin embargo está cerrado superiormente con una rejilla para el ingreso de agua lluvia; finalmente, se diseñó un tercer cárcamo con dimensiones libre de 1,0 de altura y 1,0 m de ancho, que cruza la vía perpendicularmente a nivel de la rasante de la vía, en la cual se dispone de una rejilla para el drenaje de agua.

Adicionalmente, se incluye el diseño de dos rejillas de drenaje para el cárcamo tipo 2 y cárcamo tipo 3, de 0,50 m y 1,0 m de ancho respectivamente.

A continuación, en la Figura 2, Figura 3 y Figura 4 se muestran esquemas isométricos de cada tipo de estructura.

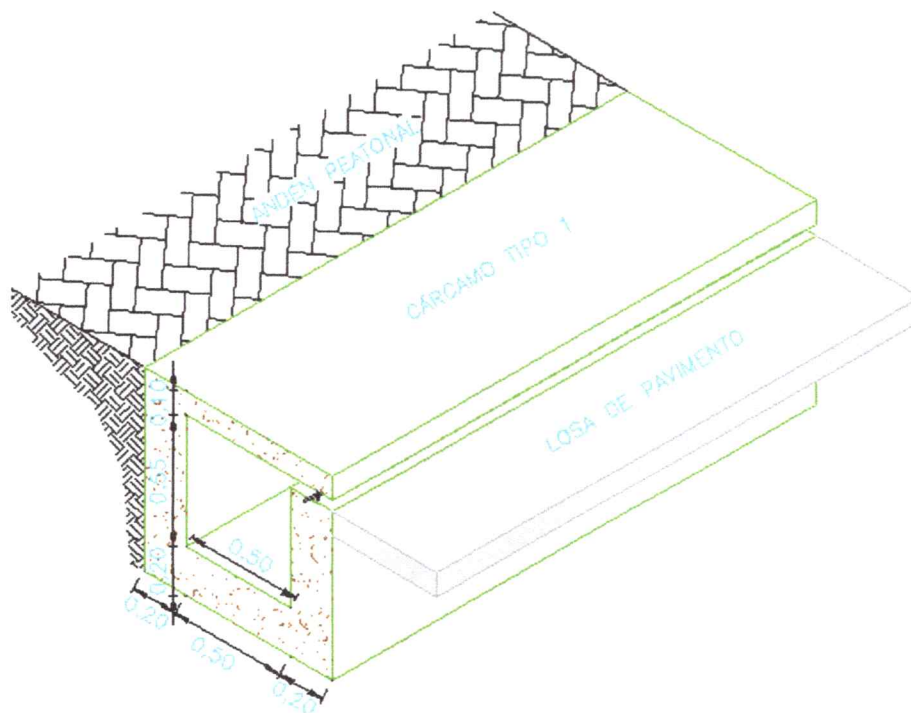


Figura 2: Isométrico, cárcamo tipo 1



Alcaldía
de Sincé

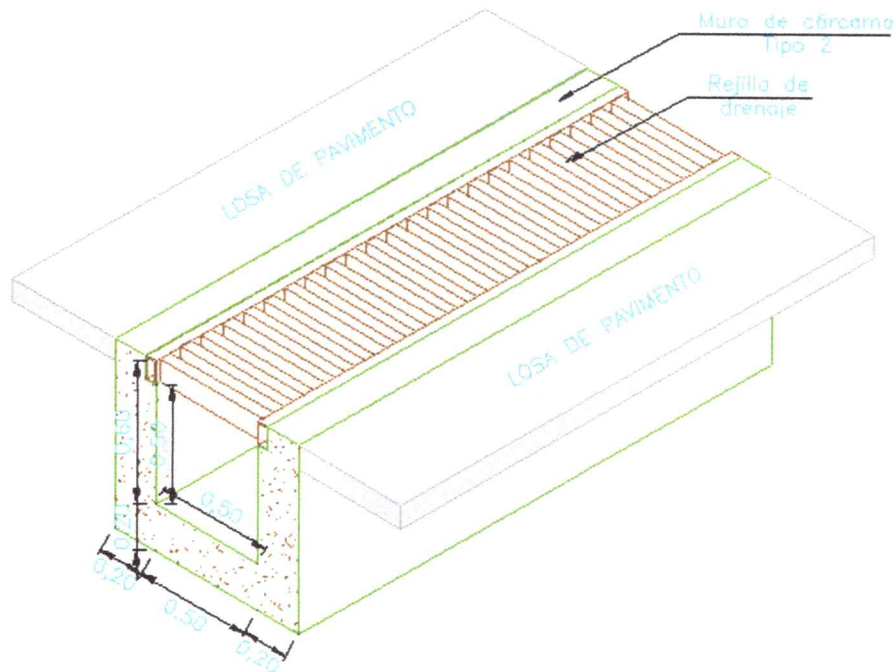


Figura 3: Isométrico, cárcamo tipo 2

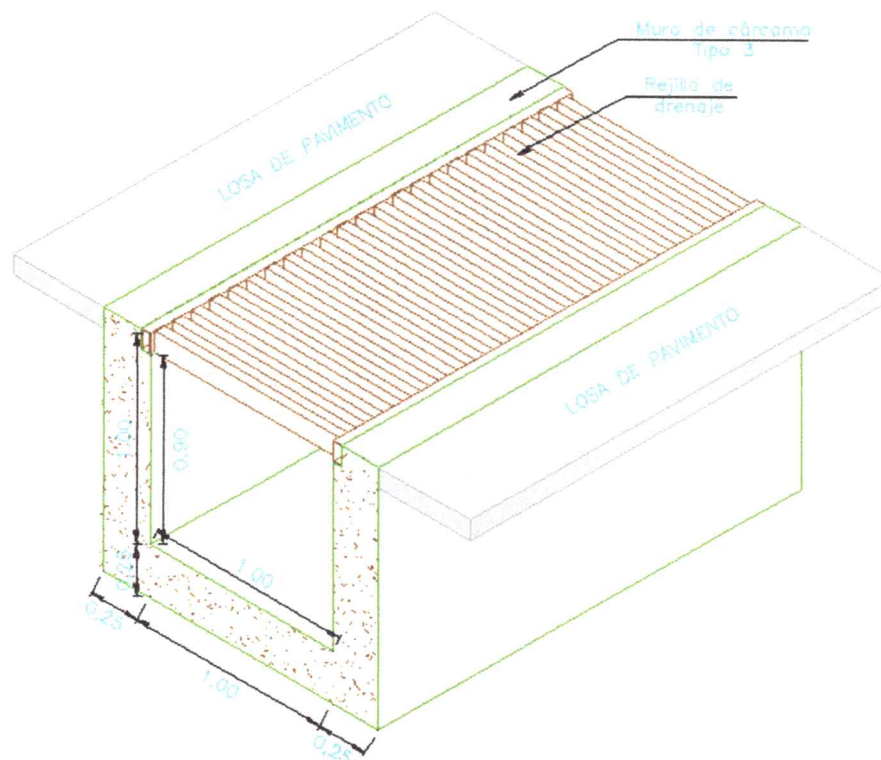


Figura 4: Isométrico, cárcamo tipo 3



5 CALIDAD DE LOS MATERIALES

La calidad de los materiales de las obras son las exigidas por el CCP-2014 y que están dentro del alcance y definición de las Especificaciones Técnicas de Construcción INVIAS-2014 y de la NSR-10.

Los materiales empleados en el diseño de las estructuras fueron:

5.1 CALIDAD DEL CONCRETO

- Concreto para muros y losas:
 - $f'c = 21,0 \text{ MPa (3.000 psi)}$ Resistencia a la compresión
 - $E = 4800\sqrt{f'c} = 21.996 \text{ MPa}$ Módulo de elasticidad
 - $\gamma_c = 24,0 \text{ kN/m}^3$ Peso específico
- Concreto para solados:
 - $f'c = 10,0 \text{ MPa (1.500 psi)}$ Resistencia a la compresión
 - $E = 4800\sqrt{f'c} = 17.960 \text{ MPa}$ Módulo de elasticidad
 - $\gamma_c = 24,0 \text{ kN/m}^3$ Peso específico

5.2 ACERO DE REFUERZO

Se utilizará acero de refuerzo grado 60 según la Norma ASTM, designación A-706 para barras $\geq \varnothing 3/8"$

- Barras de refuerzo para concreto:
 - $F_y = 420 \text{ MPa (60.000 psi)}$ Esfuerzo de fluencia
 - $E = 200.000 \text{ MPa}$ Módulo de elasticidad
 - $\gamma_s = 78,5 \text{ kN/m}^3$ Peso específico

5.3 ACERO ESTRUCTURAL

- Tubería rectangular ASTM-A500 Gr.C para rejillas de drenaje:
 - $F_y = 350 \text{ MPa (50.000 psi)}$ Esfuerzo de fluencia
 - $F_u = 430 \text{ MPa (62.000 psi)}$ Esfuerzo de tracción
 - $E = 200.000 \text{ MPa}$ Módulo de elasticidad
 - $\gamma_a = 78,5 \text{ kN/m}^3$ Peso específico

5.4 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN, DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN

- Cinta Flexible para sello de Juntas $a = 15 \text{ cm}$.



6 PARÁMETROS DE DISEÑO

6.1 PARÁMETROS SÍSMICOS

Los parámetros sísmicos que se utilizaron para el análisis y diseño de las obras civiles, se pueden apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros Sísmicos

PARÁMETRO	VALOR
Departamento	Sucre
Municipio	Sincé
Coeficiente de aceleración pico horizontal del terreno	PGA = 0,15
Coeficiente de Aceleración Espectral Horizontal para un período de vibración de 0.2 segundos	Ss = 0,20
Coeficiente de Aceleración Espectral Horizontal para un período de vibración de 1.0 segundos	S1 = 0,15
Región de amenaza sísmica, según CCP-14	3

6.2 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Los parámetros utilizados en el diseño de las estructuras provienen de un estudio de suelos de la zona, debido a la ausencia de datos detallados, se tomaron los siguientes parámetros, correspondientes a un relleno convencional

Tabla 2: Parámetros Geotécnicos

PARÁMETRO	VALOR
Perfil de suelo	D
Peso unitario del agua	$\gamma_a = 10 \text{ kN/m}^3$
Peso unitario del suelo	$\gamma_s = 21 \text{ kN/m}^3$
Angulo de fricción	30°
Coeficiente de presión lateral en reposo	0,50
Coeficiente de presión lateral activa	0,33
Coeficiente de presión lateral pasiva	3,00
Capacidad portante del suelo de fundación	50 kPa



7 EVALUACIÓN DE CARGAS

Las estructuras se diseñaron para soportar las siguientes cargas y fuerzas de acuerdo con la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14

- DC: Peso de la estructura.
- LL: Peso de las cargas móviles vehicular y peatonal
- IM: Incremento por carga dinámica
- EV: Empujes laterales de tierra.
- WA: Empujes debidos a la lámina de agua de drenaje y al nivel freático.
- LS: Sobrecarga viva.
- EQ: Efectos dinámicos.

7.1 CARGA MUERTA, DC

Como carga muerta se considerará el peso propio de la estructura en su totalidad y los materiales aledaños que soporta. Para la evaluación de la carga muerta se utilizarán las siguientes propiedades de materiales:

- | | | |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| ▪ $\gamma_{\text{conc.}}$ = | 24,0 kN/m ³ | Peso específico del concreto |
| ▪ γ_{acero} = | 78,5 kN/m ³ | Peso específico del acero estructural |
| ▪ γ_{suelo} = | 21,0 kN/m ³ | Peso específico del suelo de relleno |
| ▪ γ_{agua} = | 10,0 kN/m ³ | Peso específico del agua |

7.2 CARGA VIVA VEHICULA Y PEATONAL, LL

Para el diseño de las estructuras se considera la carga viva vehicular de diseño según la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-2014. El camión de diseño, sus pesos por eje y separaciones entre ejes, se presentan en la Figura 5.

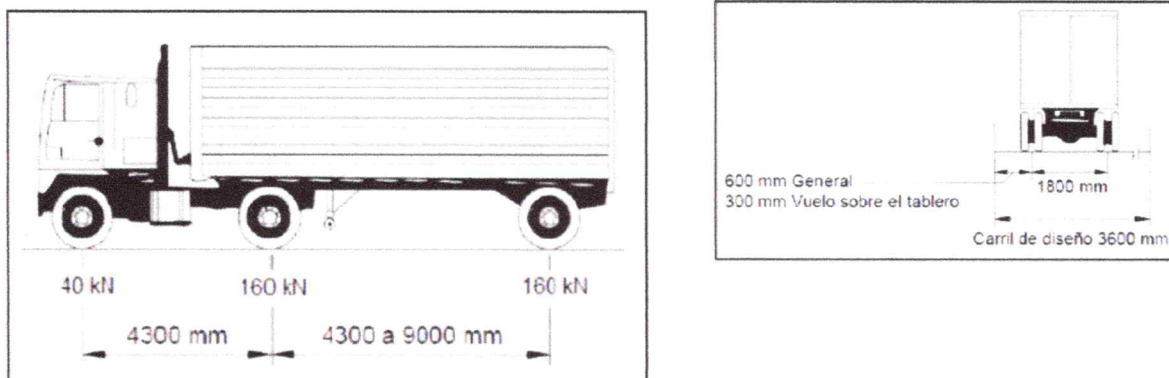


Figura 5: Camión de diseño definido en CCP – 2014



Así mismo se tendrá en cuenta el efecto de la amplificación por carga dinámica (IM – Impacto) para estructuras enterradas de acuerdo con lo indicado en la Norma CCP-14, el cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$IM = 33 * (1,0 * 4,1 * 10^{-4} * D_E) \geq 0\%$$

Donde D_E : Profundidad mínima de recubrimiento de tierra sobre la estructura (mm).

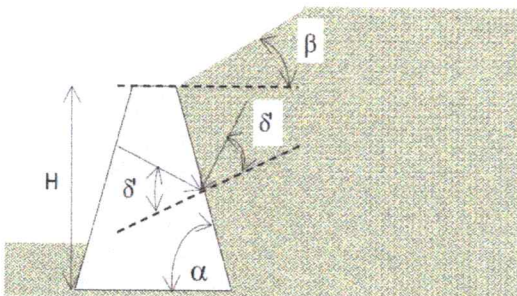
También se considera una carga peatonal de 500 kg/m², aplicables a la losa superior del cárcamo cerrado, que a su vez funciona como andén.

7.3 EMPUJES SOBRE MUROS DE ESTRUCTURAS

Las estructuras, debido a ser enterradas soporta empujes sobre sus muros, estos se dimensionaron para resistir la presión obtenida por la fórmula de Rankine, expresiones dadas en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-2014.

7.3.1 Empuje dinámico del terreno, EQ

El efecto de sismo se tiene en cuenta para el diseño de los muros siguiendo la teoría de Mononobe – Okabe, como se muestra a continuación



k_h = coeficiente horizontal debida al sismo
 k_v = coeficiente vertical debida al sismo
 β = ángulo del terreno con la horizontal
 ϕ' = ángulo de fricción interno
 α = ángulo de la cara del muro y la horizontal
 δ' = ángulo de la fuerza y la normal del muro

$k_h = 0,150$
 $k_v = 0,000$
 $\beta = 0,00^\circ$
 $\phi' = 30,00^\circ$
 $\alpha = 90,00^\circ$
 $\delta' = 0,00^\circ$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 - k_v} \right)$$

$\psi = 8,53^\circ$

$\beta < (\phi' - \psi)$
 $0,00^\circ < (30 - 8,53)$
 $0,000^\circ < 21,47^\circ$

BIEN

$$D_A = \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta') * \sin(\phi' - \beta - \psi)}{\sin(\alpha - \delta' - \psi) * \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2$$

$\sin(\phi' + \delta') = \sin(30,00^\circ) = 0,5000$
 $\sin(\phi' - \beta - \psi) = \sin(21,47^\circ) = 0,3660$
 $\sin(\alpha - \delta' - \psi) = \sin(81,47^\circ) = 0,9889$
 $\sin(\alpha + \beta) = \sin(90,00^\circ) = 1,0000$

$D_A = 2,0454$

$$K_{AQ} = \frac{(1 - k_v) * \sin(\alpha + \phi' - \psi)}{D_A * \cos(\psi) * \sin^2(\alpha) * \sin(\alpha - \delta' - \psi)}$$

$1 - k_v = 1 - 0 = 1,0000$
 $\sin^2(\alpha + \phi' - \psi) = \sin^2(111,47^\circ) = 0,8660$
 $\cos(\psi) = \cos(8,53^\circ) = 0,9889$
 $\sin^2(\alpha) = \sin^2(90,00^\circ) = 1,0000$
 $\sin(\alpha - \delta' - \psi) = \sin(81,47^\circ) = 0,9889$

$K_{AQ} = 0,4329$



Alcaldía
de Sincé



$$F_{EQ} = \frac{1}{2} * \gamma_{relleno} * H_{relleno}^2 * (1 - k_v) * K_{AQ}$$

Donde;

- F_{EQ} : Fuerza de presión lateral dinámica activa del terreno (kN/m).
 k_h : Coeficiente horizontal debida al sismo (PGA, según CCP-14).
 k_v : Coeficiente vertical debida al sismo (0, según CCP-14).
 K_{AQ} : Coeficiente de presión lateral dinámica activa
 $\gamma_{relleno}$: Peso específico del relleno (kN/m³).
 $H_{relleno}$: Altura del relleno (m).

Sin embargo, para este proyecto, por tratarse de estructuras totalmente enterradas en ambos extremos, no es necesario aplicar carga dinámica, según CCP-14.

7.3.2 Empuje estático del terreno, EH

La presión de tierras debida al relleno lateral en la estructura es igual a:

$$P_{EQ} = k * \gamma_{relleno} * H_{relleno}$$

Donde;

- P_{EQ} : Presión lateral máxima del terreno (kN/m²).
 k_o : Coeficiente de presión lateral.
 $\gamma_{relleno}$: Peso específico del relleno (kN/m³).
 $H_{relleno}$: Altura del relleno (m).

La resultante total de empuje del terreno es igual a:

$$F_{EH} = \frac{1}{2} * k * \gamma_{relleno} * H_{relleno}^2$$

Dónde;

- F_{EH} : Resultante total de empuje de agua por metro lineal (kN/m).

7.3.3 Empuje producido por la sobrecarga viva, LS

Sobrecarga equivalente al camión de diseño se determinó de acuerdo al numeral 3.11.6.4 del CCP-2014.

Tabla 3: Altura equivalente de suelo para carga vehicular sobre estribos perpendiculares al tráfico.

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



Tabla 4: Altura equivalente de suelo para carga vehicular sobre muros de contención paralelos al tráfico.

Altura del muro de contención (mm)	h _{eq} (mm)	
	Distancia desde el respaldo del muro al borde del tráfico	
	0,0 mm	300 mm o más
1500	1500	600
3000	1000	600
≥6000	600	600

$$P_{LS} = k * \gamma_{relleno} * h_{eq}$$

Donde;

P_w : Presión sobrecarga sobre el muro (kN/m²).

γ_w : Peso específico del agua (kN/m³).

h_{eq} : Altura equivalente de relleno sobre el muro (m).

La resultante total de empuje de agua es igual a:

$$F_{wA} = \frac{1}{2} * k * \gamma_{relleno} * h_{eq}^2$$

Dónde;

F_{WA} : Resultante total de empuje de sobrecarga por metro lineal (kN/m).

7.3.4 Empuje hidrostático, WA

La presión de agua causada por el nivel freático (N.F) a una altura “h_w” se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$P_w = \gamma_w * h_w$$

Donde;

P_w : Presión de agua a una profundidad h_w (kN/m²).

γ_w : Peso específico del agua (kN/m³).

h_w : Altura del N.F desde la base de la estructura (m).

La resultante total de empuje de agua es igual a:

$$F_{wA} = \frac{1}{2} * \gamma_w * h_w^2$$

Dónde;

F_{WA} : Resultante total de empuje de agua por metro lineal (kN/m).



7.4 COMBINACIONES Y FACTORES DE CARGA

Las cargas y combinaciones de carga son las definidas en CCP-2014 Tabla 3.4.1-1 y Tabla 3.4.1-2.

Tabla 5: Combinaciones y Factores de Carga, CCP-2014.

Estado Límite de la Combinación de carga	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL DM CE BR PL LS	W1	W3	W2	FR	TU	TG	SE	Use uno de estos a la vez				
										EQ	BL	IC	CT	CV
Resistencia I (a menos que se indique)	γ_p	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{FR}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia II	γ_p	1.35	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{FR}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia III	γ_p	-	1.00	1.40 0	-	1.00	0.50/1.20	γ_{FR}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Resistencia IV	γ_p	-	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Resistencia V	γ_p	1.35	1.00	0.40 0	1.0	1.00	0.50/1.20	γ_{FR}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Evento Extremo I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-	-
Evento Extremo II	γ_p	0.60	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00
Servicio I	1.00	1.00	1.00	0.30 0	1.0	1.00	1.00/1.20	γ_{FR}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	-	-	-	-	-	-	-
Servicio III	1.00	0.80	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	γ_{FR}	γ_{SE}	-	-	-	-	-
Servicio IV	1.00	-	1.00	0.70 0	-	1.00	1.00/1.20	-	1.0	-	-	-	-	-
Fatiga I- Sólo LL, DM & CE	-	1.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fatiga I II- Sólo LL, DM & CE	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 6: Factores para cargas permanentes, CCP-2014.

Tipo de Carga, tipo de Cimentación, y Método para Calcular la fricción negativa		Factor de Carga	
		Máximo	Mínimo
DC : Componentes y Accesorios		1.25	0.90
DC : Sólo Resistencia IV		1.50	0.90
DD : Fricción negativa	Pilas, Método α Tomlinson	1.4	0.25
	Pilas, Método λ	1.05	0.30
	Pozos perforados, Método O'Neill and Reese (1999)	1.25	0.35
		1.50	0.65
DW : Superficie de rodadura e instalaciones		1.50	0.65
EH : Presión horizontal de suelo			
• Activa		1.50	0.90
• En reposo		1.35	0.90
• AEP para muros anclados		1.35	N/A
EL : Tensiones residuales de Construcción		1.00	1.00
EV : Presión vertical de suelo			
• Estabilidad general		1.00	N/A
• Muros de Contención y Estribos		1.35	1.00
• Estructuras Rígidas Enterradas		1.30	0.90
• Marcos Rígidos		1.35	0.90
• Estructuras Flexibles Enterradas			
o Alcantarillas Metálicas y Alcantarillas Armadas Estructurales Corrugadas Profundas		1.5	0.9
o Alcantarillas Termoplásticas		1.3	0.9
o Todas las demás		1.95	0.9
ES : Sobrecarga de suelo		1.50	0.75



8 DISEÑO DE LA ESTRUCTURAS

Para el desarrollo de los análisis se construyó un modelo estructural tridimensional de elementos finitos, usando el programa *SAP2000* de la empresa *COMPUTERS AND STRUCTURES*. Los muros y losa se modelaron mediante elementos tipo “frame”, con 1 metro de ancho para los cárcamos, con el objetivo de realizar un análisis por metro lineal. El apoyo se consideró como articulaciones a cada extremo de la obra. Las cargas de la estructura se aplicaron sobre los muros y losas como cargas lineales.

8.1 HIPÓTESIS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE CÁRCAMOS

Para obtener la respuesta más crítica de la estructura frente a las cargas impuestas, se tuvieron en cuenta varias hipótesis y combinaciones de carga. Para ello se consideraron funcionamientos óptimos e inadecuados de la estructura, esto es funcionando a su máxima capacidad o con la celda vacía, tomándose los efectos más críticos sobre las paredes y las placas superior e inferior. Las consideraciones son tres y fueron evaluadas en condiciones de servicio y condiciones últimas, según lo estipulado en el CCP-14.

8.1.1 Hipótesis de Carga 1: Construcción

En este caso se considera que la obra está totalmente construida y se ha colocado el relleno lateral y superior. En este caso la estructura estaría lista para usarse, sin embargo, aún no se deja pasar agua por dentro de él ni se tiene en cuenta la carga viva. Con base en los diagramas de cargas se tiene que:

- $EMP_{ext} \neq 0$
- $EMP_{int} = 0$

Donde EMP_{ext} es el empuje de tierras, nivel freático y/o sobrecargas y EMP_{int} es el empuje de agua debido a la presión interior en la obra y depende de la altura de la lámina de agua. Además, se tiene en cuenta el efecto de las cargas permanente verticales.

8.1.2 Hipótesis de Carga 2: Vacío

En esta consideración la estructura está en funcionamiento y ya hay carga vehicular, pero su interior está seco, es decir que no hay paso de agua internamente. Con base en los diagramas de cargas se tiene que:

- $EMP_{ext} \neq 0$
- $EMP_{int} = 0$

Donde EMP_{ext} es el empuje de tierras, nivel freático y/o sobrecargas y EMP_{int} es el empuje de agua debido a la presión interior en la obra y depende de la altura de la lámina



de agua. En esta hipótesis se tiene en cuenta el efecto de las cargas permanentes verticales y la carga viva.

8.1.3 Hipótesis de Carga 3: Lleno

En este caso la estructura está en uso, pero cuando el caudal de la corriente es máximo. En este caso la obra estaría totalmente llena de agua en su interior; para hacerlo más crítico. Con base en los diagramas de cargas se tiene que:

- $EMP_{ext} \neq 0$
- $EMP_{int} \neq 0$

Donde EMP_{ext} es el empuje de tierras, nivel freático y/o sobrecargas y EMP_{int} es el empuje de agua debido a la presión interior en la obra y depende de la altura de la lámina de agua.

8.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CÁRCAMO TIPO 1

8.2.1 Aplicación de cargas al modelo matemático

A continuación, de la Figura 6 hasta la Figura 10, se muestra la aplicación de cargas al modelo tridimensional realizado para el diseño.

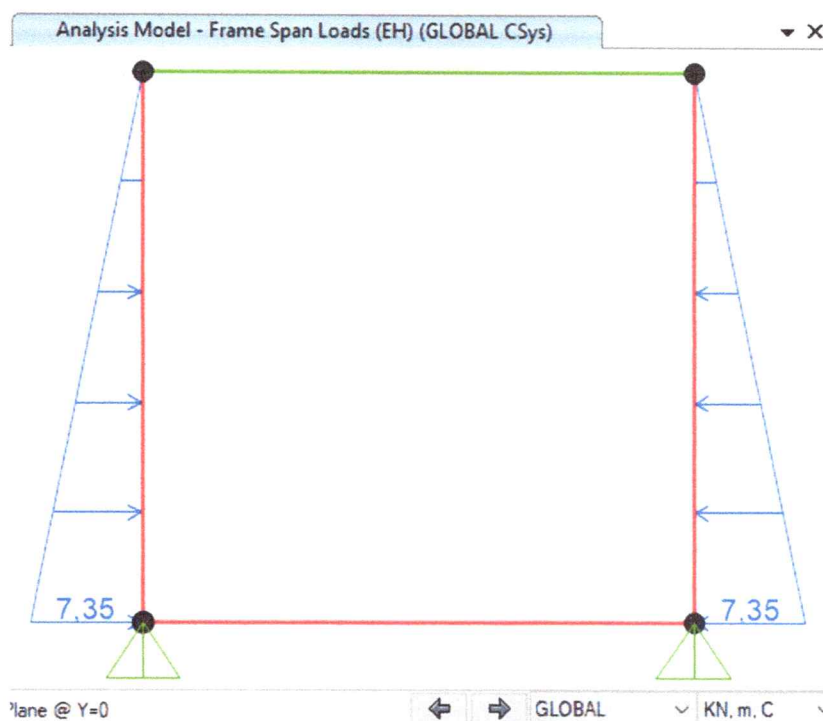


Figura 6: Asignación de empuje de suelo, EH a cárcamo tipo 1



Alcaldía
de Sincé

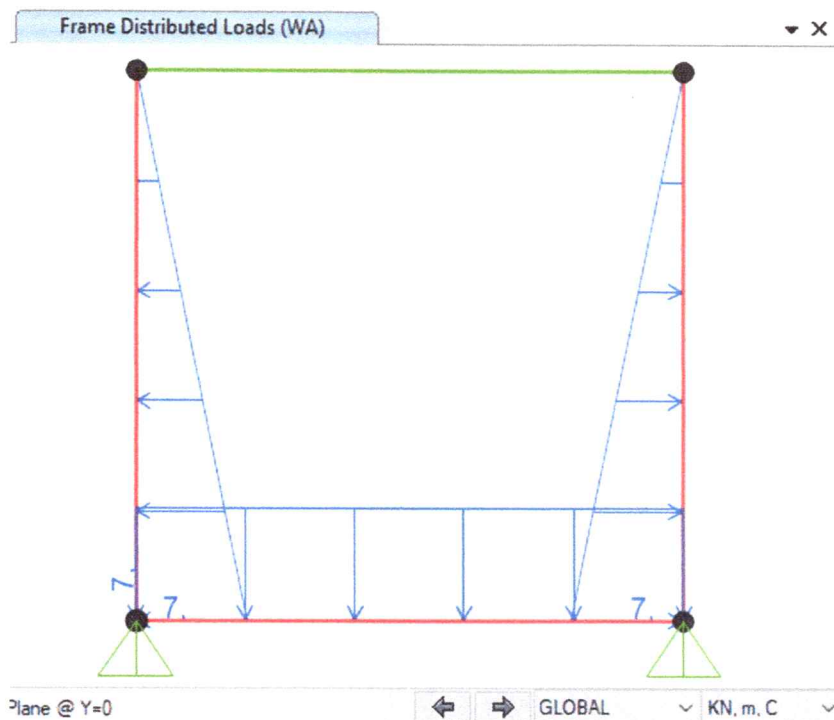


Figura 7: Asignación de empuje hidráulico, WA a cárcamo tipo 1

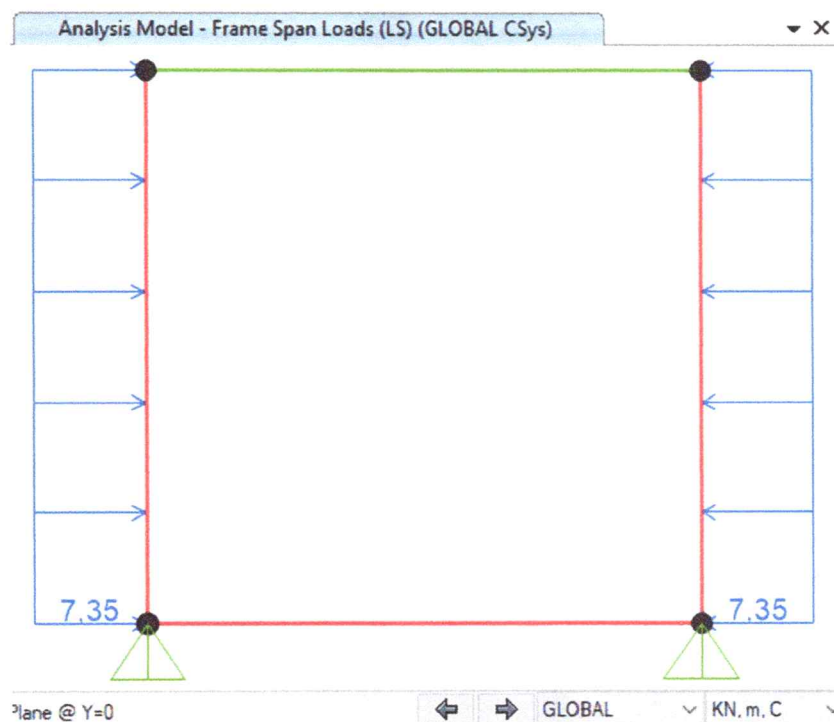


Figura 8: Asignación de empuje por sobrecarga, LS a cárcamo tipo 1



Alcaldía
de Sincé

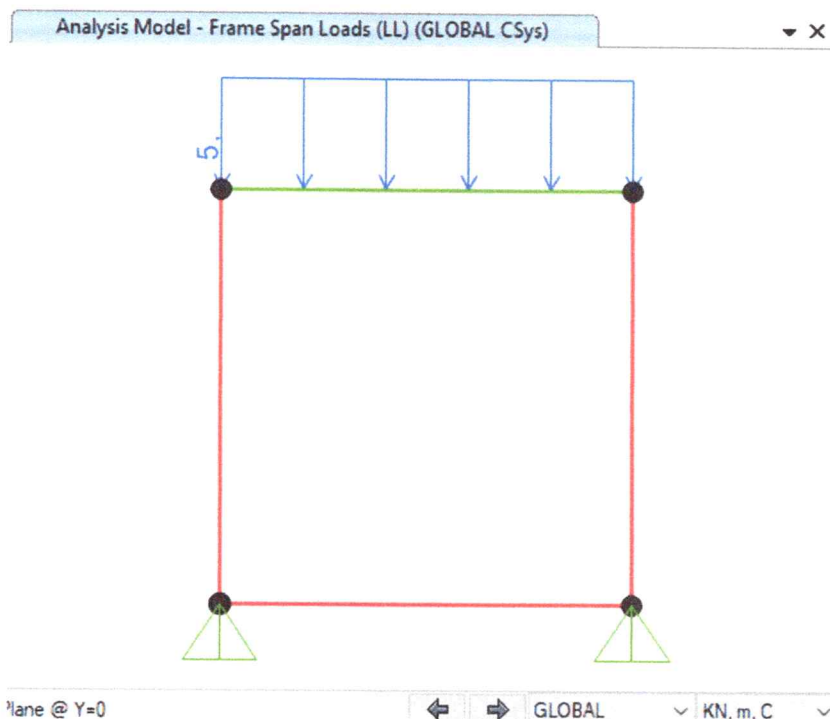


Figura 9: Asignación carga viva peatonal, LL a cárcamo tipo 1

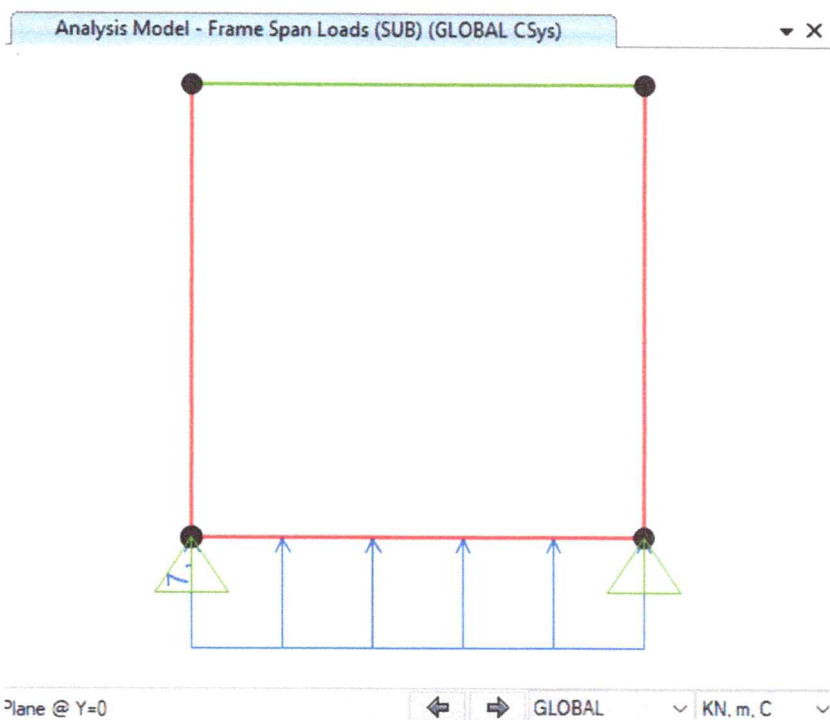


Figura 10: Asignación de empuje de subpresión, SUB a cárcamo tipo 1



8.2.2 Diagramas de fuerza cortante y momento flector

Luego de realizar la asignación de cargas y el análisis estructural, con base en las combinaciones de servicio y diseño mostradas en el capítulo 7.4 del presente documento, se obtienen los siguientes diagramas de solicitaciones.

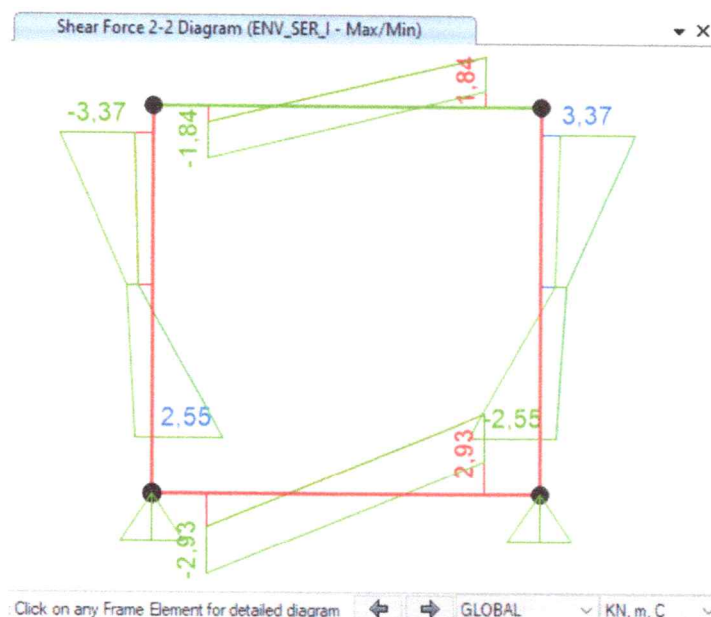


Figura 11: Diagrama de cortante para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 1

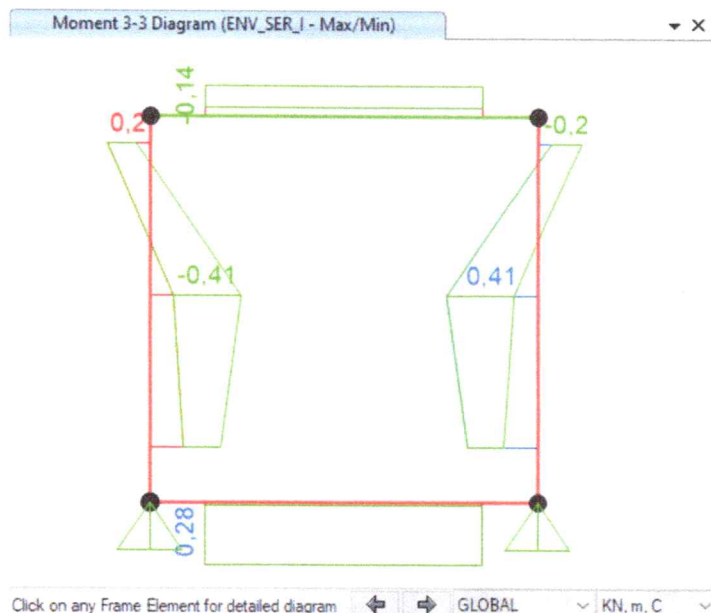


Figura 12: Diagrama de momento para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 1



Alcaldía
de Sincé

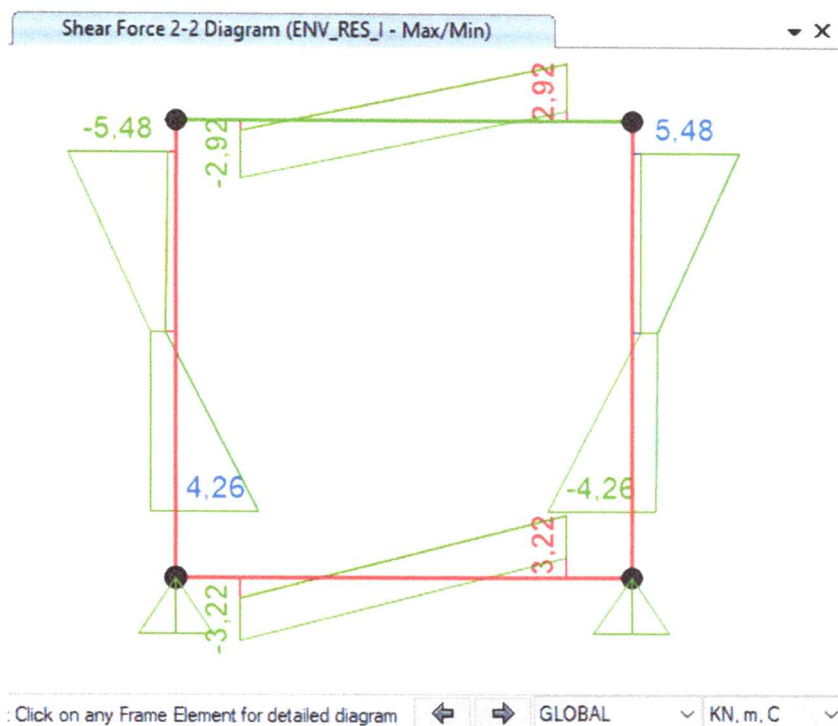


Figura 13: Diagrama de cortante para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 1

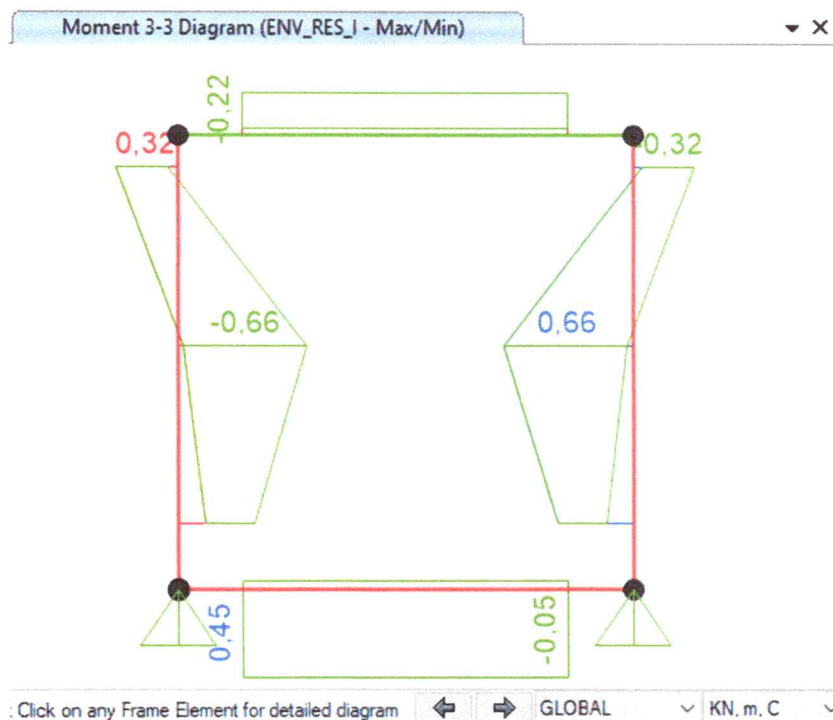


Figura 14: Diagrama de momento para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 1



8.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CÁRCAMO TIPO 2

A continuación, de la Figura 15 hasta la Figura 18, se muestra la aplicación de cargas al modelo tridimensional realizado para el diseño.

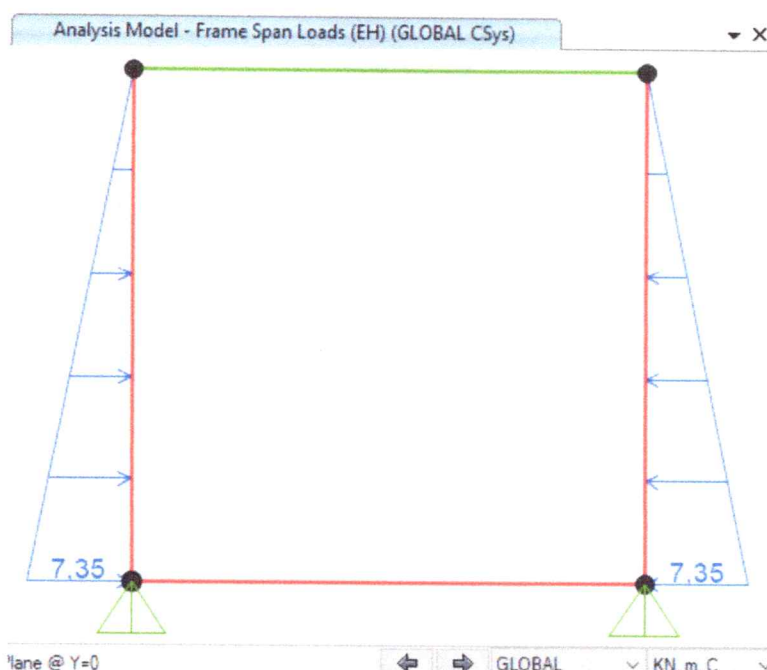


Figura 15: Asignación de empuje de suelo, EH a cárcamo tipo 2

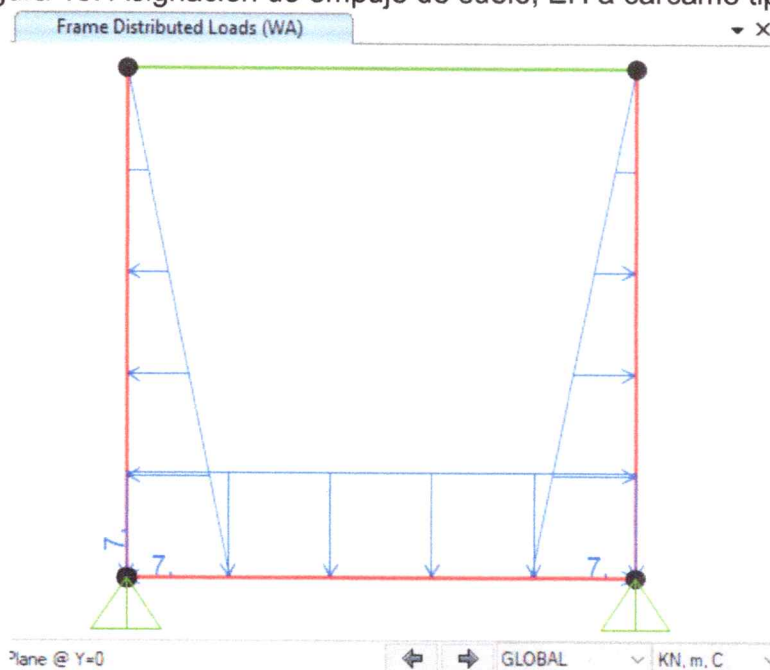


Figura 16: Asignación de empuje hidráulico, WA a cárcamo tipo 2



Alcaldía
de Sincé

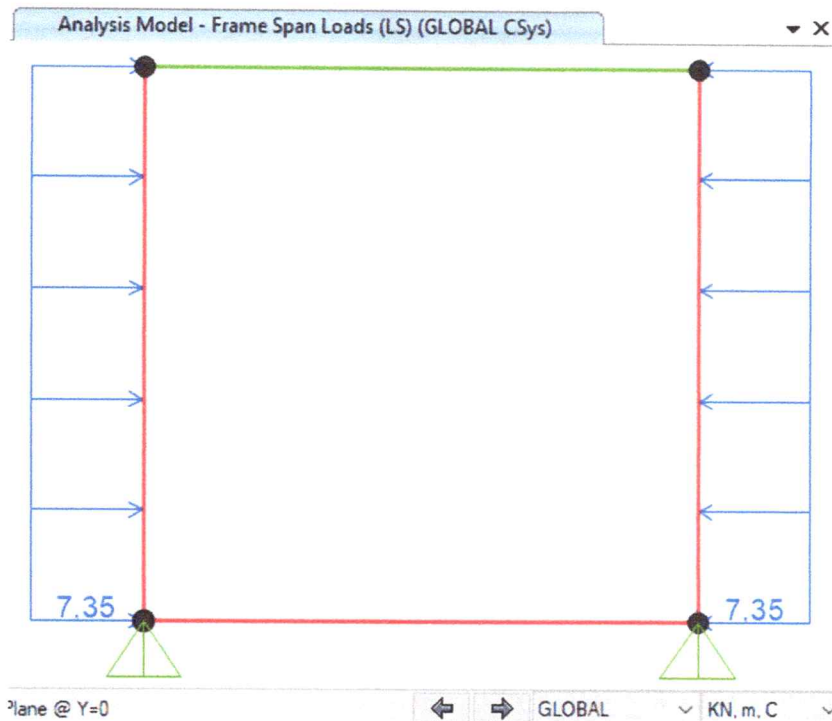


Figura 17: Asignación de empuje por sobrecarga, LS a cárcamo tipo 2

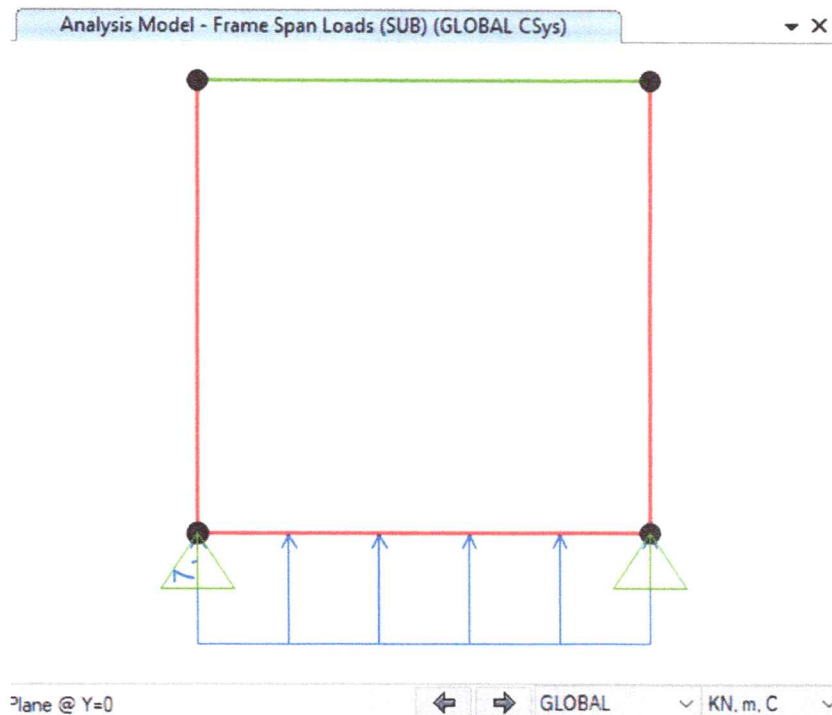


Figura 18: Asignación de empuje de subpresión, SUB a cárcamo tipo 2



Para la asignación de carga viva en este tipo de cárcamo, se calculó el valor aplicable según la norma CCP-14, como se indica a continuación:

Altura de la sección del box, H celda =	0,60	m
Ancho de la sección del box, B celda =	0,50	m
No celdas =	1,00	
Espesores internos del box, e_int =	0,20	m
Espesores externos del box, e_ext =	0,20	m
Altura Relleno, Hrell =	0,00	mm < 0,60m
Altura total del box, HBOX =	1,00	m
Ancho Exterior de la Alcantarilla, BC =	0,90	m
Longitud del Box, L Box =	6,00	m
Peso unitario del Suelo, γ_{rell} =	21,00	kN/m ³ (Geotecnia)
Ángulo de Fricción Interna, ϕ =	30,00	° (Geotecnia)
Coefficiente de Presión Lateral en Reposo, K_0 =	0,50	

4.6.2.10 Ancho de Franja equivalente para alcantarillas. Trafico Paralelo a la Luz

- S = Luz libre (mm)
- E = Ancho de distribución equivalente perpendicular a la luz (mm)
- E Luz = Longitud de distribución equivalente paralela a la luz (mm)
- LT = Longitud del área de contacto de la llanta paralela a la luz (mm)
- LLDF = Factor de distribución de carga viva según la profundidad del relleno
- H = Profundidad del relleno medida desde el tope de la alcantarilla al tope del pavimento

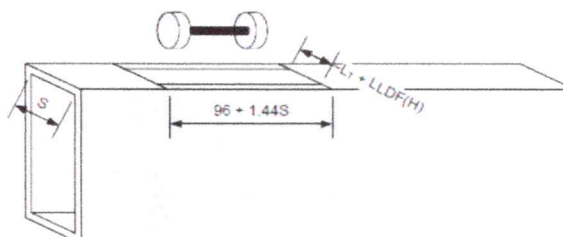


Figura 36.4-2 Distribución de Carga Perpendicular a la luz , Profundidad de Relleno < 0,60 m

(Perpendicular a la luz) E =	2500	mm (4.6.2.10.2-1)
(Paralelo a la Luz) E Luz =	250	mm (4.6.2.10.2-2)
Área rectangular en la profundidad H, ALL =	625433	mm ²
Incremento por carga dinámica, IM =	33	% (3.6.2.2)
Incremento por carga dinámica transmilenio, IM =	33	%
# Carriles =	1	
Factor de Presencia Múltiple, m =	1,20	(Tabla 3.6.1.1.2-1)
Carga Viva Aplicada en la superficie a todas las ruedas que interactúan,	80000	N (3.6.1.2.2) - Camión
Carga Viva Aplicada en la superficie a todas las ruedas que interactúan,	62500	N (3.6.1.2.3) - Tandem
Presión vertical en la corona de carga viva, PL =	0,408	N/mm ² (3.6.1.2.6b-6)-Camión
Presión vertical en la corona de carga viva, PL =	0,319	N/mm ² (3.6.1.2.6b-6)-Tandem
Carga Viva Vehicular, LL=	40,83	Ton/m - Camión
Carga Viva Vehicular, LL=	31,90	Ton/m - Tandem

Carga Viva Vehicular, LL= 408,29 kN/m

Gobierna Camión



Alcaldía
de Sincé



Con base en lo anterior se creó el vehículo de diseño para aplicarlo al modelo como carga móvil

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Leading Load	Infinite		0	0.0981
Leading Load	Infinite		0	0.0981
Fixed Length	0.25	408.29	0.0981	0.0981

Figura 19: Definición del vehículo de diseño, cárcamo tipo 2

Assign Number	Vehicle Class	Scale Factor	Min Loaded Paths	Max Loaded Paths	Paths Loaded
1	CAMIÓN CCP-1	1	0	1	
	CAMIÓN CCP-14	1	0	1	All

Number of Paths Loaded	Reduction Scale Factor
1	1

Figura 20: Definición de carga viva como carga móvil, cárcamo tipo 2



Alcaldía
de Sincé



8.3.1 Diagramas de fuerza cortante y momento flector

Luego de realizar la asignación de cargas y el análisis estructural, con base en las combinaciones de servicio y diseño mostradas en el capítulo 7.4 del presente documento, se obtienen los siguientes diagramas de solicitaciones, sin mostrar la rejilla superior ya que su diseño se detalla más adelante.

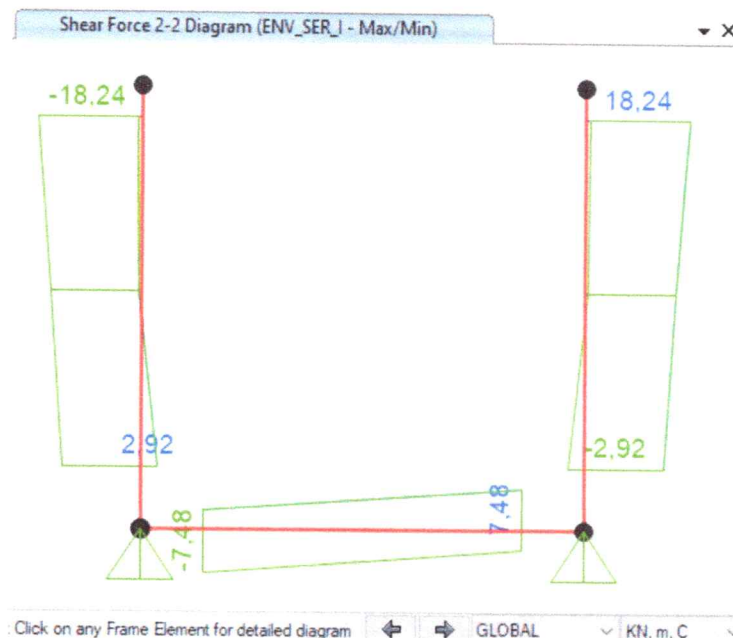


Figura 21: Diagrama de cortante para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 2

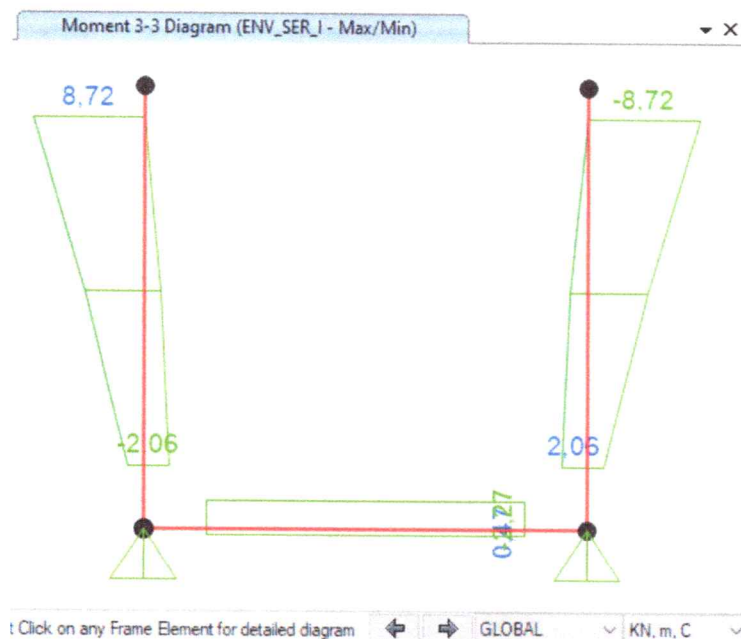
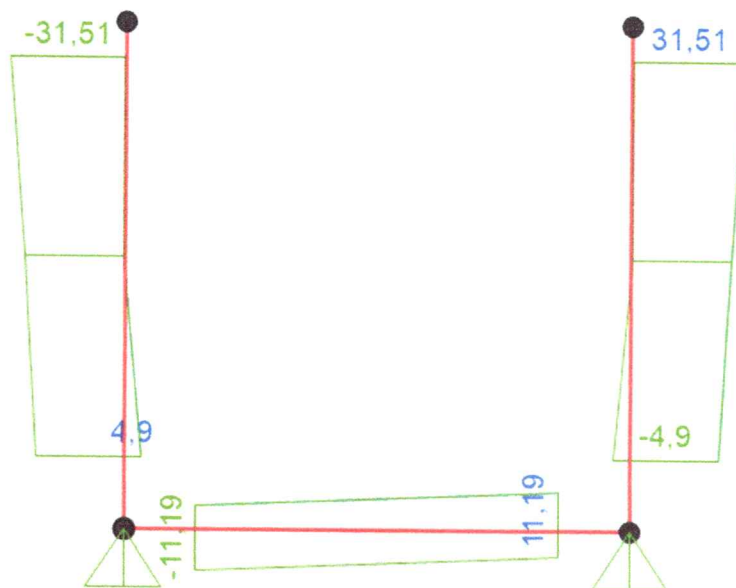


Figura 22: Diagrama de momento para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 2



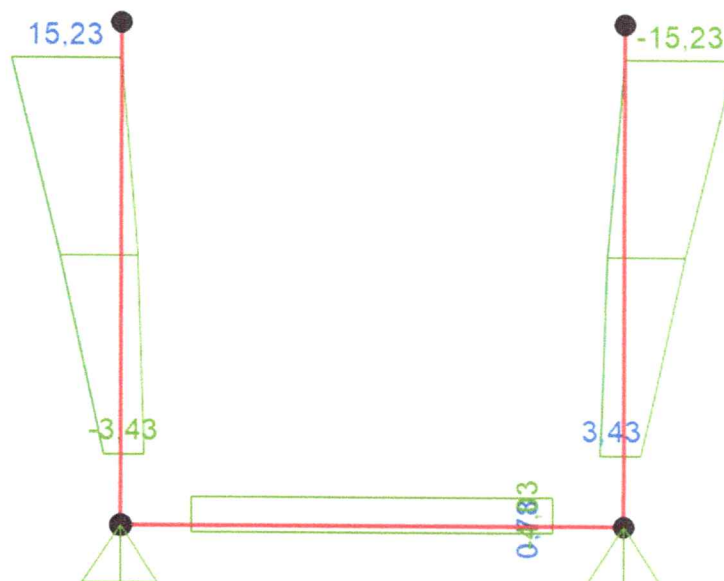
Shear Force 2-2 Diagram (ENV_RES_I - Max/Min)



Click on any Frame Element for detailed diagram GLOBAL KN, m, C

Figura 23: Diagrama de cortante para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 2

Moment 3-3 Diagram (ENV_RES_I - Max/Min)



Click on any Frame Element for detailed diagram GLOBAL KN, m, C

Figura 24: Diagrama de momento para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 2



8.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CÁRCAMO TIPO 3

A continuación, de la Figura 25 hasta la Figura 28, se muestra la aplicación de cargas al modelo tridimensional realizado para el diseño.

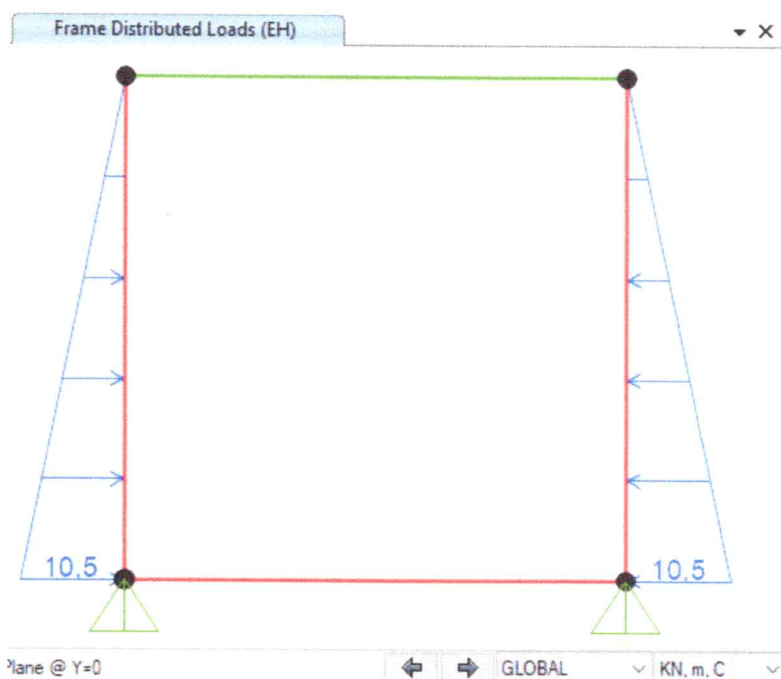


Figura 25: Asignación de empuje de suelo, EH a cárcamo tipo 3

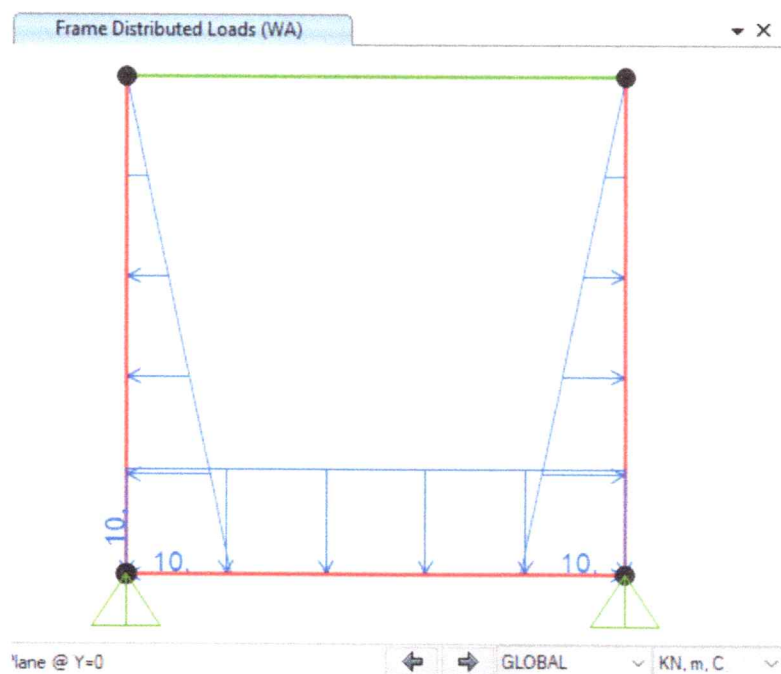


Figura 26: Asignación de empuje hidráulico, WA a cárcamo tipo 3



Alcaldía
de Sincé

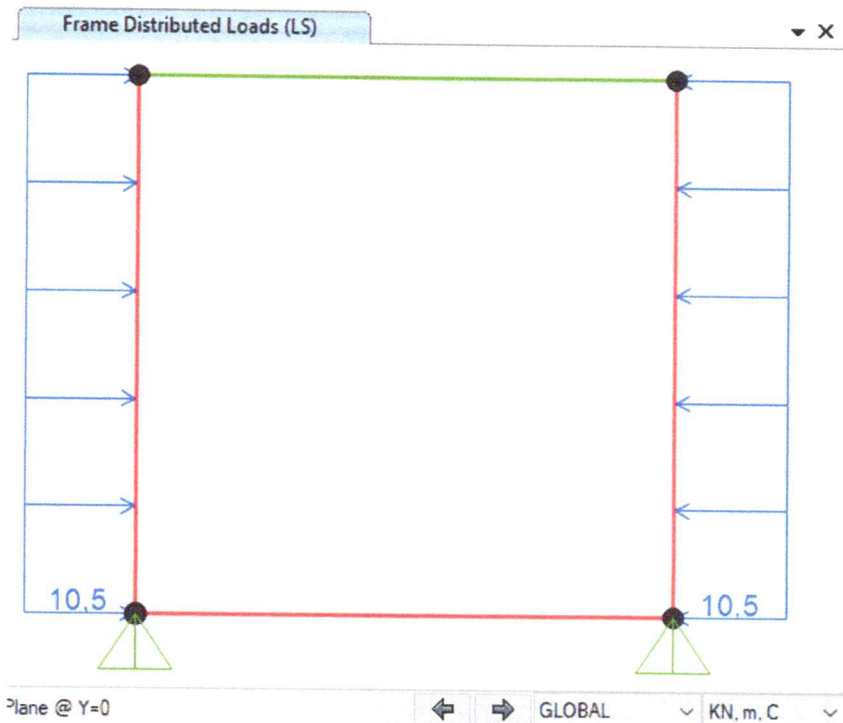


Figura 27: Asignación de empuje por sobrecarga, LS a cárcamo tipo 3

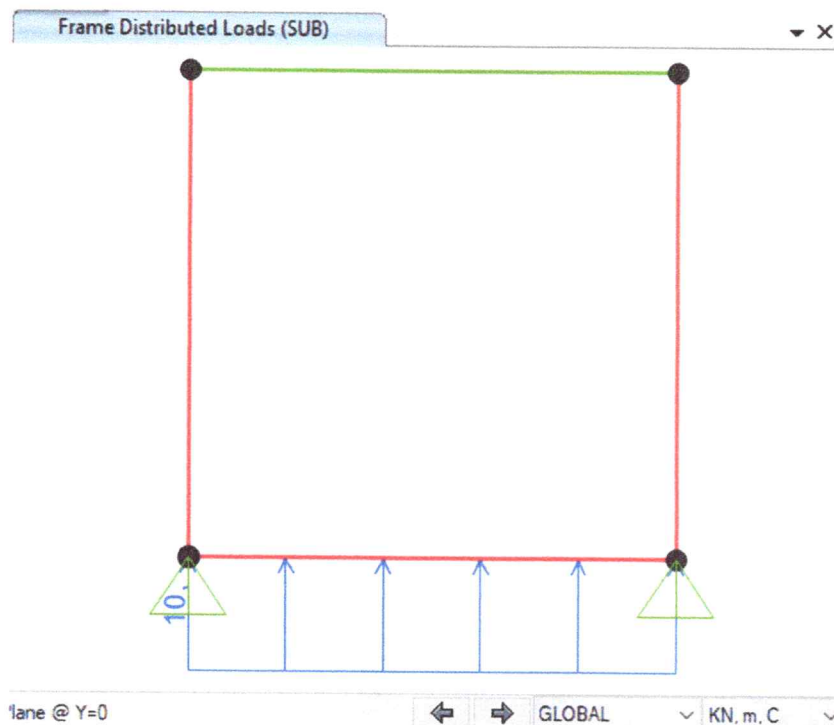


Figura 28: Asignación de empuje de subpresión, SUB a cárcamo tipo 3



Para la asignación de carga viva en este tipo de cárcamo, se calculó el valor aplicable según la norma CCP-14, como se indica a continuación:

Altura de la sección del box, H celda =	1,00	m	
Ancho de la sección del box, B celda =	1,00	m	
No celdas =	1,00		
Espesores internos del box, e_int =	0,25	m	
Espesores externos del box, e_ext =	0,25	m	
Altura Relleno, Hrell =	0,00	mm	< 0,60m
Altura total del box, HBOX =	1,50	m	
Ancho Exterior de la Alcantarilla, BC =	1,50	m	
Longitud del Box, L Box =	6,00	m	
Peso unitario del Suelo, γ_{rell} =	21,00	kN/m ³ (Geotecnia)	
Ángulo de Fricción Interna, ϕ =	30,00	° (Geotecnia)	
Coefficiente de Presión Lateral en Reposo, Ko =	0,50		

4.6.2.10 Ancho de Franja equivalente para alcantarillas. Trafico Paralelo a la Luz

- S = Luz libre (mm)
 E = Ancho de distribución equivalente perpendicular a la luz (mm)
 E Luz = Longitud de distribución equivalente paralela a la luz (mm)
 LT = Longitud del área de contacto de la llanta paralela a la luz (mm)
 LLDF = Factor de distribución de carga viva según la profundidad del relleno
 H = Profundidad del relleno medida desde el tope de la alcantarilla al tope del pavimento

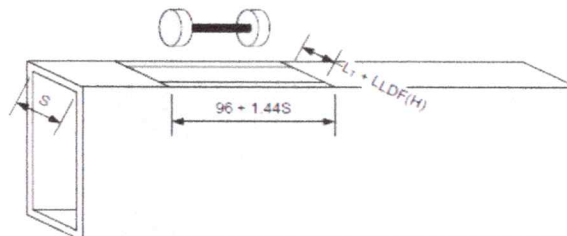


Figura 36.4-2 Distribución de Carga Perpendicular a la luz , Profundidad de Relleno < 0,60 m

(Perpendicular a la luz) E =	2560	mm (4.6.2.10.2-1)
(Paralelo a la Luz) E Luz =	250	mm (4.6.2.10.2-2)
Área rectangular en la profundidad H, ALL =	640443	mm ²
Incremento por carga dinámica, IM =	33	% (3.6.2.2)
Incremento por carga dinámica transmilenio, IM =	33	%
# Carriles =	1	
Factor de Presencia Múltiple, m =	1,20	(Tabla 3.6.1.1.2-1)
Carga Viva Aplicada en la superficie a todas las ruedas que interactúan,	80000	N (3.6.1.2.2) - Camión
Carga Viva Aplicada en la superficie a todas las ruedas que interactúan,	62500	N (3.6.1.2.3) - Tandem
Presión vertical en la corona de carga viva, PL =	0,399	N/mm ² (3.6.1.2.6b-6)-Camión
Presión vertical en la corona de carga viva, PL =	0,312	N/mm ² (3.6.1.2.6b-6)-Tandem

Carga Viva Vehicular, LL=	39,87	Ton/m - Camión
Carga Viva Vehicular, LL=	31,15	Ton/m - Tandem

Carga Viva Vehicular, LL= 398,72 kN/m Gobierna Camión



Alcaldía
de Sincé



Con base en lo anterior se creó el vehículo de diseño para aplicarlo al modelo como carga móvil

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	0.25		398.72	0.0981
Leading Load	Infinite		0	0.0981
Fixed Length	0.25		398.72	0.0981

Figura 29: Definición del vehículo de diseño, cárcamo tipo 3

Assign Number	Vehicle Class	Scale Factor	Min Loaded Paths	Max Loaded Paths	Paths Loaded
1	CAMIÓN CCP-14	1	0	1	All

Number of Paths Loaded	Reduction Scale Factor
1	1

Figura 30: Definición de carga viva como carga móvil, cárcamo tipo 3



Alcaldía
de Sincé



8.4.1 Diagramas de fuerza cortante y momento flector

Luego de realizar la asignación de cargas y el análisis estructural, con base en las combinaciones de servicio y diseño mostradas en el capítulo 7.4 del presente documento, se obtienen los siguientes diagramas de solicitaciones, sin mostrar la rejilla superior ya que su diseño se detalla más adelante.

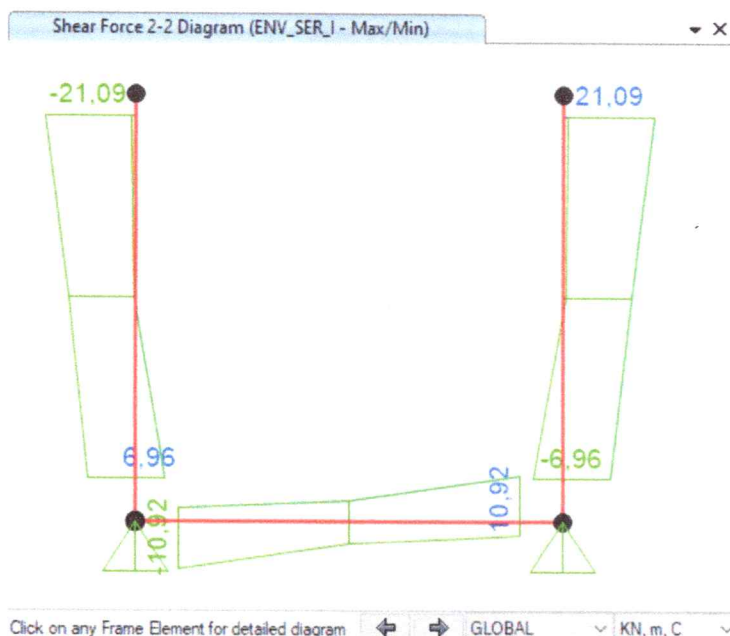


Figura 31: Diagrama de cortante para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 3

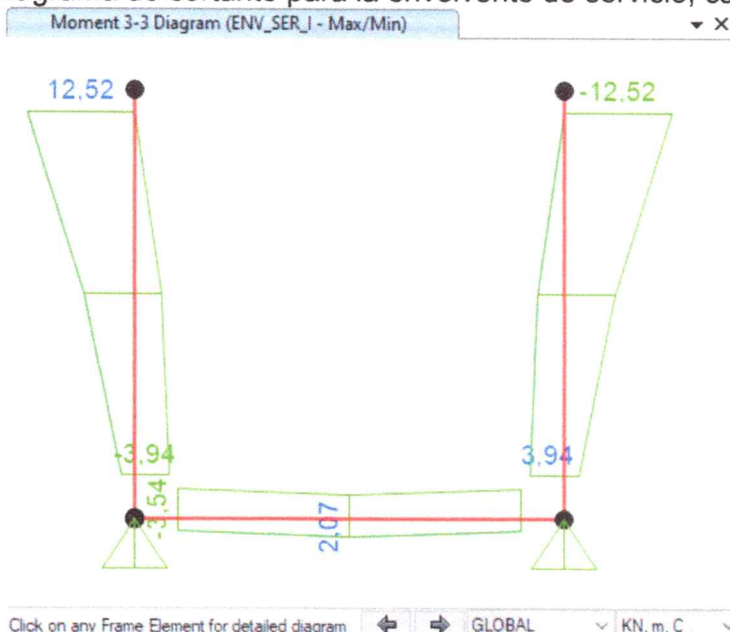


Figura 32: Diagrama de momento para la envolvente de servicio, cárcamo tipo 3

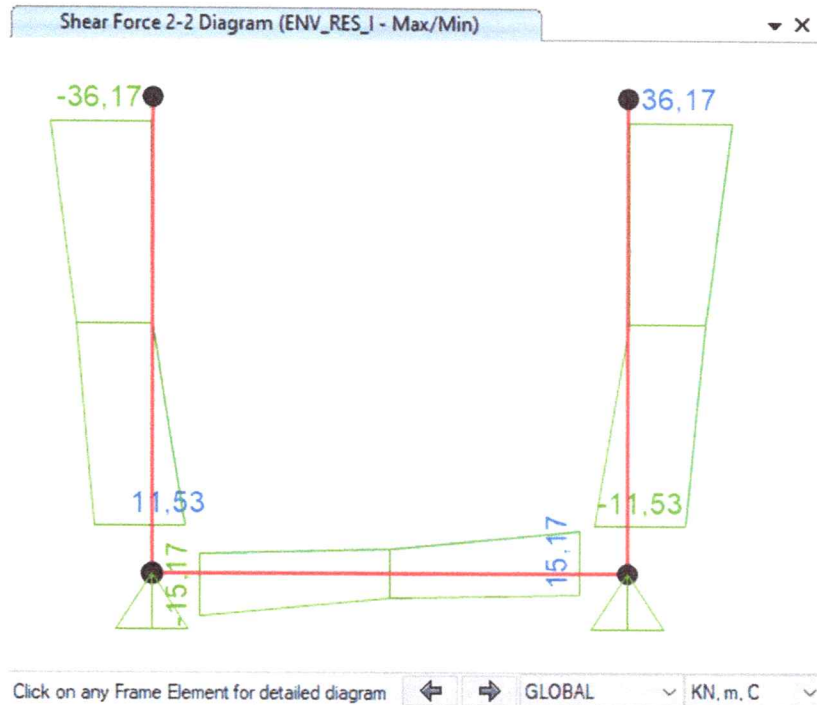


Figura 33: Diagrama de cortante para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 3

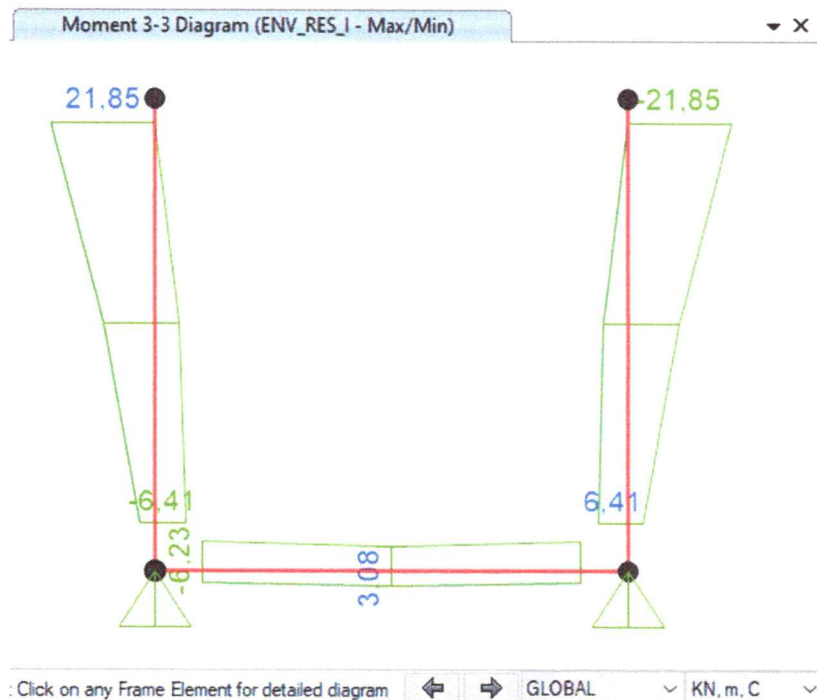


Figura 34: Diagrama de momento para la envolvente de diseño, cárcamo tipo 3



8.5 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS CÁRCAMOS

Materiales

Concreto $f'c$ =	21 MPa
Acero fy (corrugado) =	420 MPa
Acero flejes fy (corrugado) =	420 MPa
ϕ Flexión =	0.90
ϕ cortante =	0.85

Cuántia Mínima de Retracción de Fraguado

Separación de juntas de retracción =	6.00 m
Cuántia mínima =	0.0030

Tabla C.23-C7.12.2.1 - Cuántías Mínimas de Retracción de Fraguado y Variación de Temperatura

Requisitos Adicionales

Separación máxima refuerzo =	30 cm
------------------------------	-------

C.23-C.7.12.2.2

Control de Agrietamiento

$$s \leq \frac{123000 * \gamma_e - 2d_c}{\beta_s * f_{ss}}$$

z límite = 30,5 MN/m

f_s admisible = 252 MPa para $\phi > 5$

f_s admisible = 252 MPa para $\phi < 4$

Ancho tolerable grieta = 0.3 mm

$\beta = 1.35$

$\beta = 1.20$ para vigas y 1.35 para losas

Donde:

γ_e = Factor de Exposición (1.00 para exposición clase 1 ó 0.75 para exposición clase 2)
 d_c = Espesor del recubrimiento de concreto medido desde la fibra extrema de tracción hasta el centrodel refuerzo de flexión más cercano (mm).

f_{ss} = Esfuerzo de tracción en el refuerzo convencional, en el estado límite de servicio (MPa)

β_s = Relación entre la deformación unitaria a flexión en la cara extrema a tracción y la deformación unitaria en el centroide del refuerzo más cercana a la cara de tracción.

DISEÑO A FLEXIÓN

pmin (Cuántia mínima de refuerzo)	0.0030
pmax (Cuántia máxima de refuerzo)	0.0153

ELEMENTO	Geometría			Momentos			Refuerzo									
	b (cm)	h (cm)	rec (cm)	M _{servicio} (kN.m)	M _u (kN.m)	M _{cr} (kN.m)	M Diseño (kN.m)	φ ref principal dp (#)	φ fleje o ref inf df (#)	ρ	ρ def	As req. (cm ²)	Separación máxima (cm)	Separación adoptada (cm)	As adoptado (cm ²)	Refuerzo adoptado
Muro izquierdo, Tipo 1	100	20	7.5	0.41	0.66	22.73	0.88	4	4	0.0002	0.0030	3.75	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Muro derecho, Tipo 1	100	20	7.5	0.41	0.66	22.73	0.88	4	4	0.0002	0.0030	3.75	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Losa superior, Tipo 1	100	10	5	0.14	0.22	5.68	0.29	4	4	0.0003	0.0030	1.50	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Losa inferior, Tipo 1	100	20	7.5	0.28	0.45	22.73	0.60	4	4	0.0001	0.0030	3.75	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Muro izquierdo, Tipo 2	100	20	7.5	8.72	15.23	0.00	15.23	4	4	0.0027	0.0030	3.75	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Muro derecho, Tipo 2	100	20	7.5	8.72	15.23	0.00	15.23	4	4	0.0027	0.0030	3.75	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Losa inferior, Tipo 2	100	20	7.5	0.47	0.83	0.00	0.83	4	4	0.0001	0.0030	3.75	30.00	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Muro izquierdo, Tipo 3	100	25	7.5	12.52	21.85	0.00	21.85	4	4	0.0020	0.0030	5.25	24.57	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Muro derecho, Tipo 3	100	25	7.5	12.52	21.85	0.00	21.85	4	4	0.0020	0.0030	5.25	24.57	20	6.45	# 4 c/ 20cm
Losa inferior, Tipo 3	100	25	7.5	2.07	3.08	0.00	3.08	4	4	0.0003	0.0030	5.25	24.57	20	6.45	# 4 c/ 20cm

CONTROL AGRIETAMIENTO

ELEMENTO	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13
	b (cm)	h (cm)	rec (cm)	M _{servicio} (kN.m)	φ principal dp (#)	φ fleje o ref inf df (#)	Separación adoptada (cm)	d _c (mm)	f _{ss} (MPa)	β s	Separación máx (cm)	Control de Agrietamiento (5.7.3.4 AASHTO-LRFD)
Muro izquierdo, Tipo 1	100	20	7.5	0.41	4	4	20	81.4	5.89	1.98	1038.7	Correcto
Muro derecho, Tipo 1	100	20	7.5	0.41	4	4	20	81.4	5.89	1.98	1038.7	Correcto
Losa superior, Tipo 1	100	10	5	0.14	4	4	20	56.4	5.75	2.84	741.2	Correcto
Losa inferior, Tipo 1	100	20	7.5	0.28	4	4	20	81.4	4.02	1.98	1528.5	Correcto
Muro izquierdo, Tipo 2	100	20	7.5	8.72	4	4	20	81.4	125.27	1.98	33.3	Correcto
Muro derecho, Tipo 2	100	20	7.5	8.72	4	4	20	81.4	125.27	1.98	33.3	Correcto
Losa inferior, Tipo 2	100	20	7.5	0.47	4	4	20	81.4	6.75	1.98	904.0	Correcto
Muro izquierdo, Tipo 3	100	25	7.5	12.52	4	4	20	81.4	124.80	1.69	42.1	Correcto
Muro derecho, Tipo 3	100	25	7.5	12.52	4	4	20	81.4	124.80	1.69	42.1	Correcto
Losa inferior, Tipo 3	100	25	7.5	2.07	4	4	20	81.4	20.63	1.69	336.6	Correcto

REVISIÓN A CORTANTE

5.8.3.3 - Resistencia Nominal del Cortante para Losas y muros: Donde:

$$\phi V_c = 0.083 * \beta * \sqrt{f_c} * b * d_e$$

$$\phi V_c \leq 0.25 * \sqrt{f_c} * b * d_e$$

φ = 0.85 (Tabla 12.5.5-1 Factores de Resistencia para las Estructuras Enterradas, tipo cajón de concreto reforzado colocado in-situ)
β = 2.00
θ = 45° (5.8.3.4.1- Procedimiento simplificado para secciones No Preesforzadas)

Elemento	Geometría						CORTANTE				
	b (cm)	h (cm)	recub (cm)	bv (cm)	d _e (cm)	d _v (cm)	φ V _{c1} (kN)	φ V _{c2} (kN)	φ V _c (kN) adop.	V _u (kN)	Revisión a cortante
Muro izquierdo, Tipo 1	100,0	20,0	7,5	100,0	11,865	14,4	76,72	115,54	76,7	5,48	OK
Muro derecho, Tipo 1	100,0	20,0	7,5	100,0	11,865	14,4	76,72	115,54	76,7	5,48	OK
Losa superior, Tipo 1	100,0	10,0	5	100,0	4,365	7,2	28,22	42,51	28,2	2,92	OK
Losa inferior, Tipo 1	100,0	20,0	7,5	100,0	11,865	14,4	76,72	115,54	76,7	3,22	OK
Muro izquierdo, Tipo 2	100,0	20,0	7,5	100,0	11,865	14,4	76,72	115,54	76,7	31,51	OK
Muro derecho, Tipo 2	100,0	20,0	7,5	100,0	11,865	14,4	76,72	115,54	76,7	31,51	OK
Losa inferior, Tipo 2	100,0	20,0	7,5	100,0	11,865	14,4	76,72	115,54	76,7	11,19	OK
Muro izquierdo, Tipo 3	100,0	25,0	7,5	100,0	16,865	18	109,05	164,23	109,0	36,17	OK
Muro derecho, Tipo 3	100,0	25,0	7,5	100,0	16,865	18	109,05	164,23	109,0	36,17	OK
Losa inferior, Tipo 3	100,0	25,0	7,5	100,0	16,865	18	109,05	164,23	109,0	11,17	OK



8.6 VERIFICACIÓN DE FLOTACIÓN POR SUBPRESIÓN

La verificación de la flotación por esfuerzo de subpresión se realizó para el cárcamo tipo 3, debido a que esta es la estructura más crítica, por ser la que tiene mas relación de volumen vacío con respecto al volumen de la estructura.

γ_w = Peso unitario del agua.

NF = Altura del nivel freático.

L_{box} = Longitud del box culvert.

B = Presión de empuje.

F_B = Fuerza de empuje.

γ_c = Peso unitario del concreto.

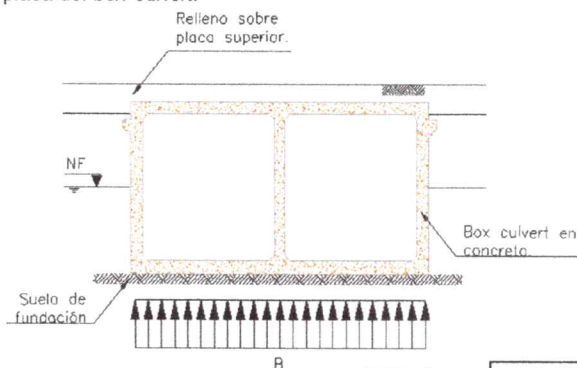
V_{box} = Volumen del box culvert.

W_{box} = Peso del box culvert.

γ_{rel} = Peso unitario del relleno sobre la placa superior.

H_{rel} = Altura del relleno sobre la placa superior.

W_{rel} = Peso del relleno sobre la placa del box culvert.



Datos

γ_w [Ton/m ³] =	1,00
γ_c [Ton/m ³] =	2,40
γ_{rel} [Ton/m ³] =	2,10

NF [m] =	1,00
H_{rel} [m ³ /m] =	0,00

L_{box} [m] =	5,00
V_{box} [m ³] =	4,38

Cálculos

$$B = \gamma_w \times NF$$

$$B \text{ [Ton/m}^2\text{]} = 1,00 \times 1,00 = 1 \text{ Ton/m}^2$$

$$F_B = B \times L_{box}$$

$$F_B \text{ [Ton/m]} = 1,00 \times 5,00 = 5,00 \text{ Ton/m}$$

$$W_{box} = \gamma_c \times V_{box}$$

$$W_{box} \text{ [Ton/m]} = 2,40 \times 4,38 = 10,50 \text{ Ton/m}$$

$$W_{rel} = \gamma_{rel} \times L_{box} \times H_{rel}$$

$$W_{rel} \text{ [Ton/m]} = 2,10 \times 5,00 \times 0,00 = 0,00 \text{ Ton/m}$$

$$W_{total} = W_{box} + W_{rel}$$

$$W_{total} \text{ [Ton/m]} = 0,00 + 10,50 = 10,50 \text{ Ton/m}$$

$$W_{total} \geq F_B$$

$$10,50 \text{ Ton/m} \geq 5,00 \text{ Ton/m}$$

(O.K.)



8.7 VERIFICACIÓN DE CAPACIDAD ADMISIBLE MÁXIMA

La capacidad admisible del terreno se verificó para el cárcamo tipo 3, al ser la estructura con mayor peso de todas las diseñadas para el proyecto.

Carga total a cimentación para las combinaciones de servicio

TABLE: Base Reactions					
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	KN	KN	KN
SER 01	Combination		0	0	16,494
SER 02	Combination		0	0	26,494
SER 03	Combination		0	0	16,494
SER 04	Combination	Max	0	0	26,494
SER 04	Combination	Min	0	0	26,494
SER 05	Combination	Max	0	0	16,494
SER 05	Combination	Min	0	0	16,494

Carga máxima por metro de profundidad 26,49

Información Geométrica del Box

Longitud de la estructura = 5,00 m

Ancho de la estructura = 1,25 m

Area total de la losa inferior = 6,25 m²

Carga total sobre la losa inferior = 132,47 kN

Esfuerzo actuante en el terreno = 21,20 kN/m²

Esfuerzo admisible = 50,00 kN/m²

Esfuerzo Actuante (kN/m2)

Esfuerzo Admisible (kN/m2)

21,20

<

50,00

OK



8.8 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS REJILLAS DE DRENAJE

Para el diseño de la rejilla se aplica la carga de una llanta, con la proyección de la huella de la misma, la cual tiene 50 cm por 25 cm, como se muestra en la Figura 35.

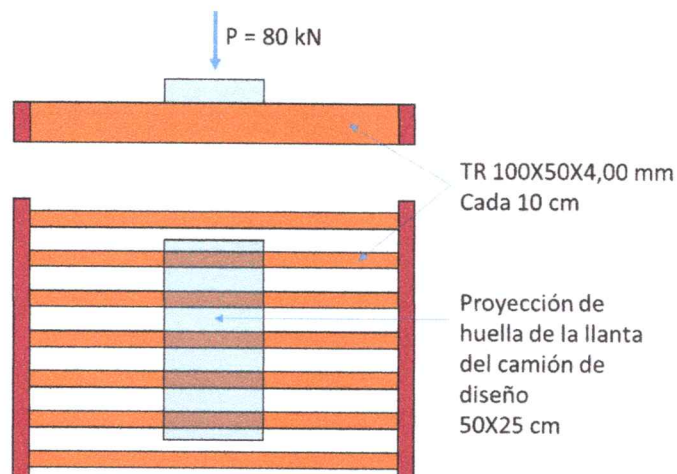


Figura 35: Proyección de huella vehicular sobre rejilla de drenaje

Debido al ancho aferente de la huella, la cual abarca cinco tubos rectangulares, esta carga se divide en este valor y se realiza el chequeo para un solo tubo, con la ayuda del programa SAP200 se aplicó una carga móvil de la siguiente forma.

- $LL + IM = 80 \cdot 1,33 / 5 = 21,28 \text{ kN}$ Carga puntual amplificada para un solo tubo

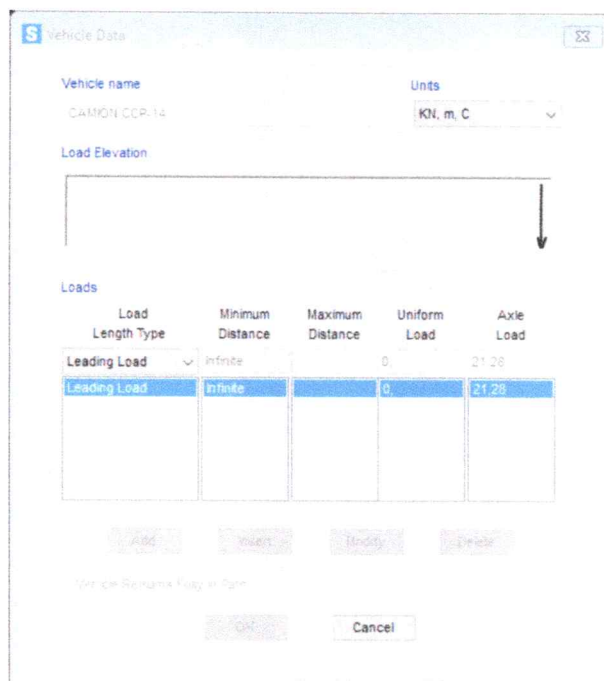


Figura 36: Definición del vehículo de diseño, rejilla de drenaje

S Box Tube Section

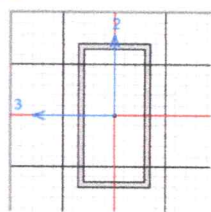
Section Name: TR10X50X4 Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions

Outside depth (t3)	0,1
Outside width (t2)	0,05
Flange thickness (tf)	4,000E-03
Web thickness (tw)	4,000E-03

Section



Material: A500GrC

Properties:

Figura 37: Definición de la sección de diseño, rejilla de drenaje

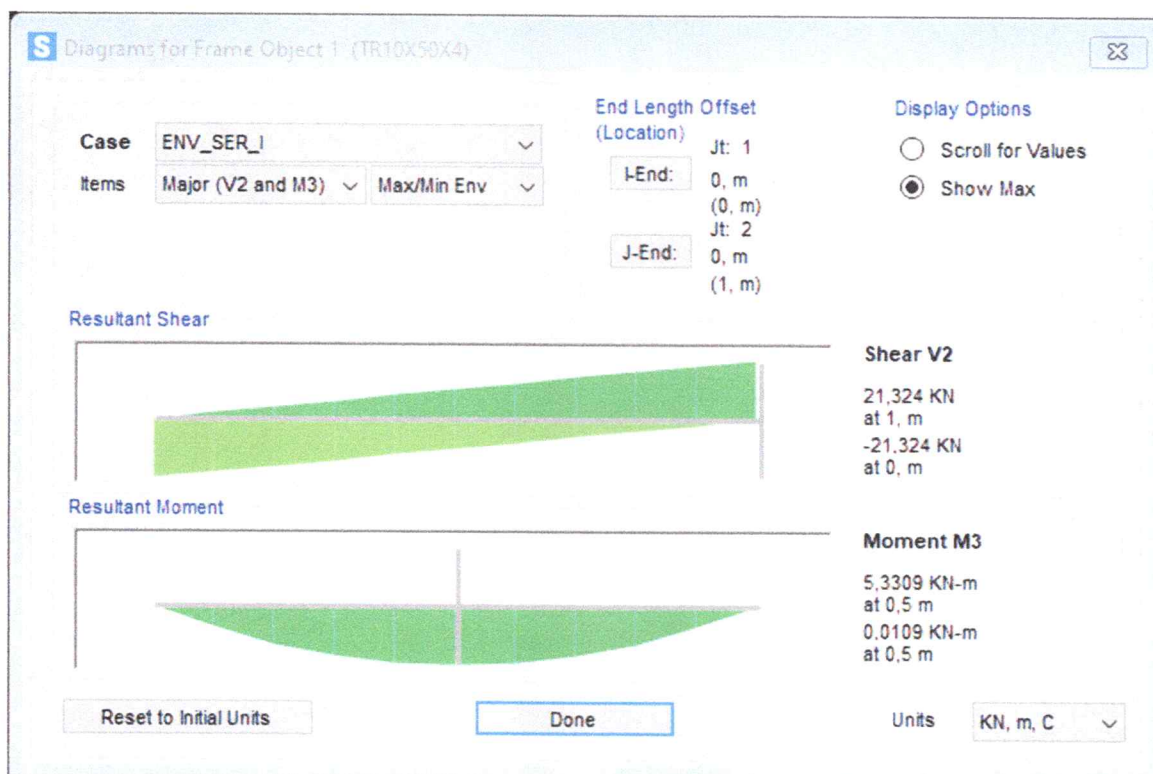


Figura 38: Diagramas de corte y momento, rejilla de drenaje



A continuación, en la Figura 39 se presentan los valores de los índices de capacidad demanda de la tubería para la rejilla obtenidos mediante el programa SAP2000. Se observa que los índices capacidad demanda de los elementos no superan la unidad, siendo igual a 0,82, lo que indica una optimización en el proceso de diseño.

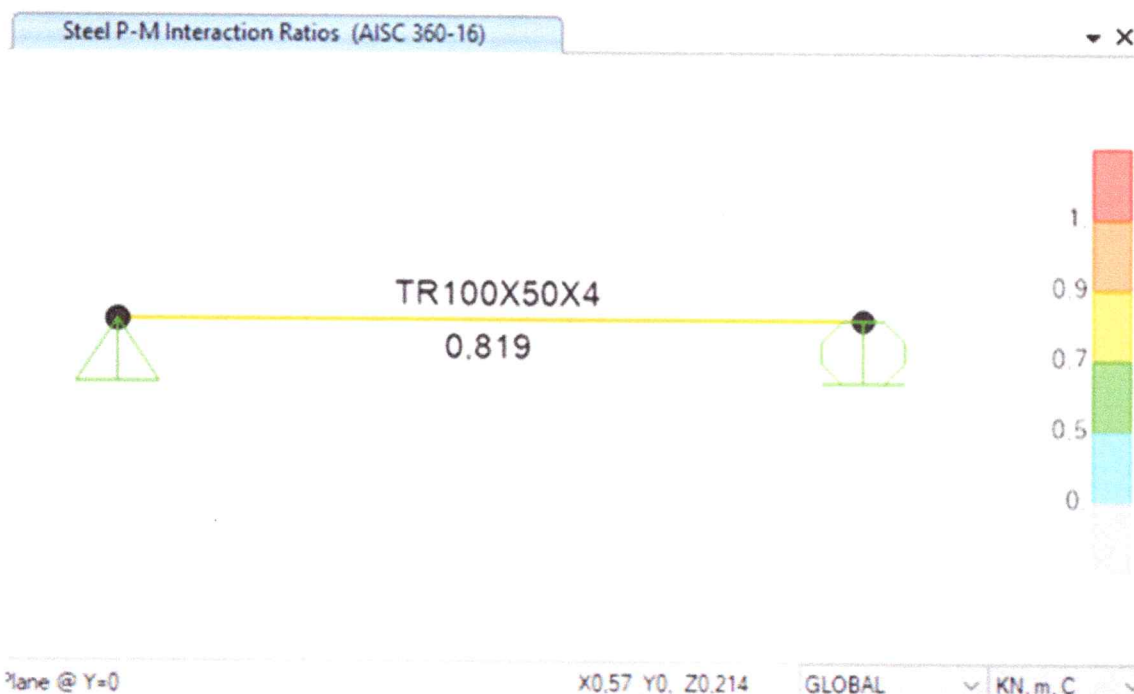
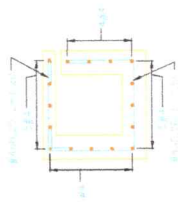
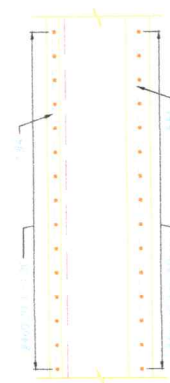
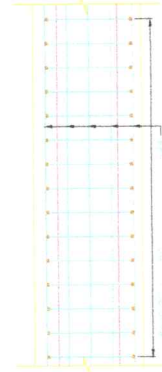
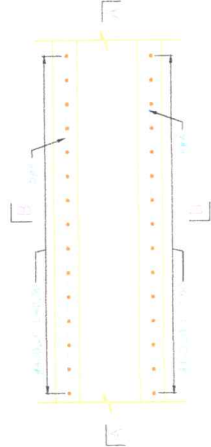
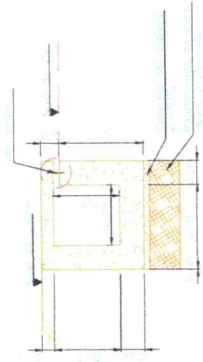
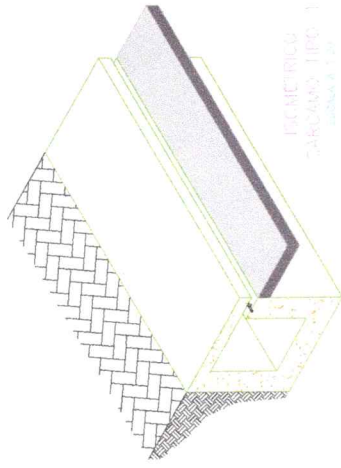
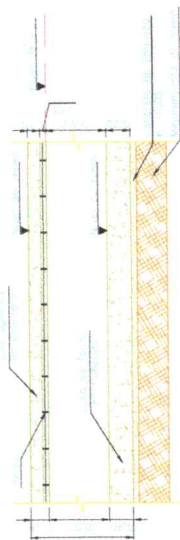
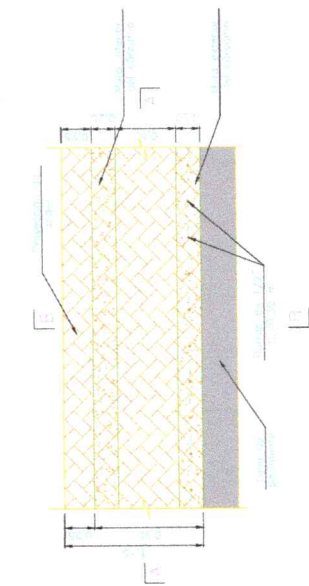
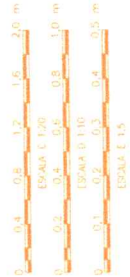


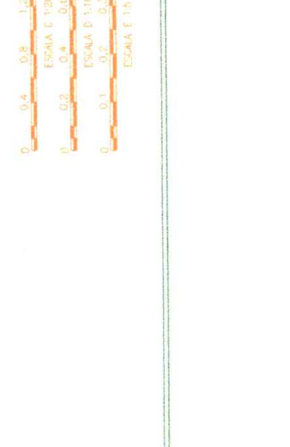
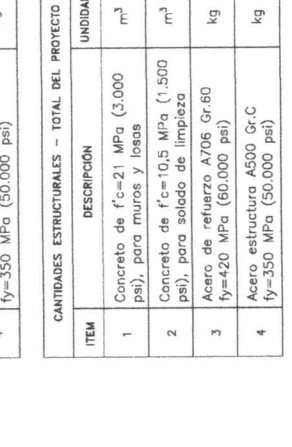
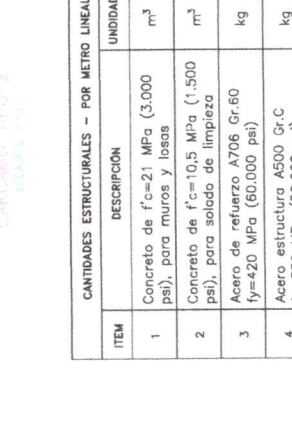
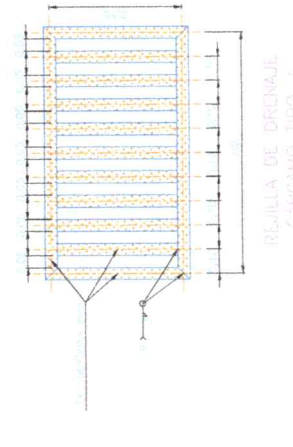
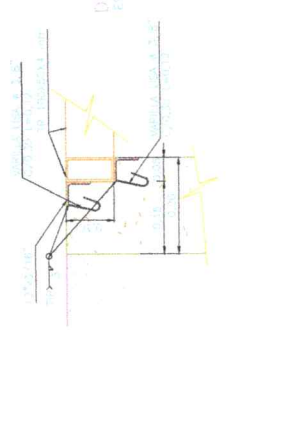
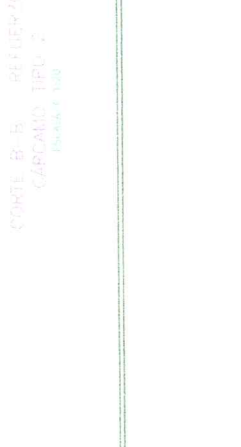
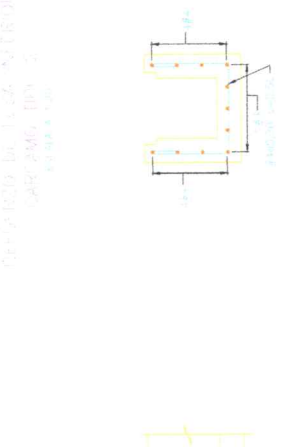
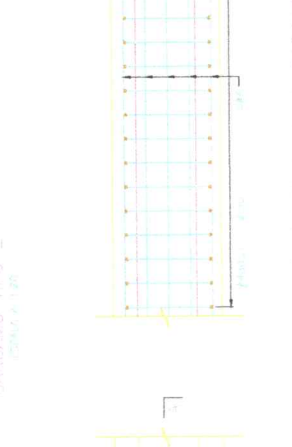
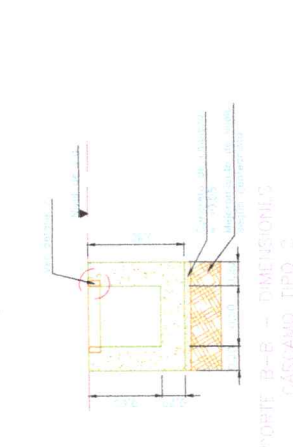
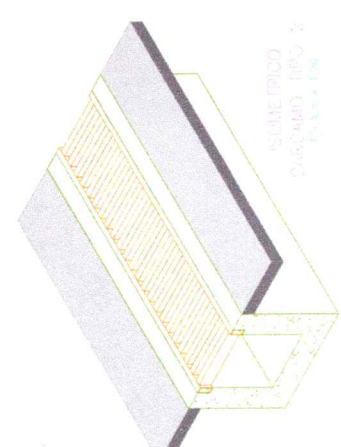
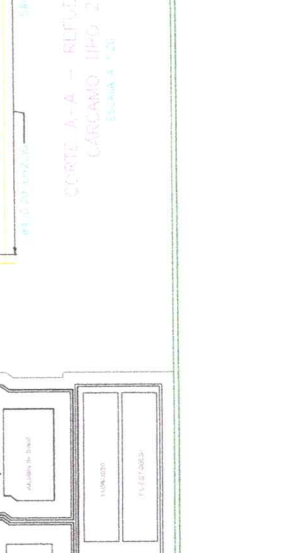
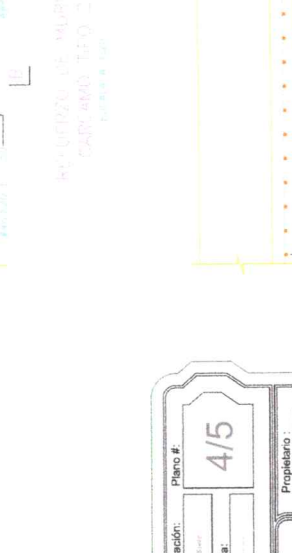
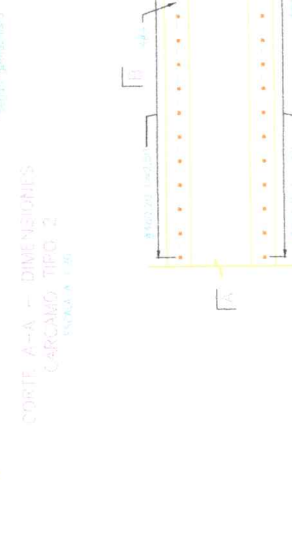
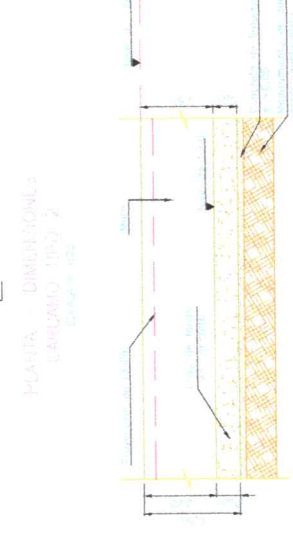
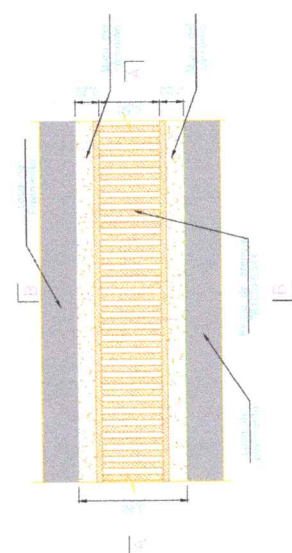
Figura 39: Índice de sobrefuerzo de diseño, rejilla de drenajes



CANTIDADES ESTRUCTURALES – POR METRO LINEAL			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Concreto de $f'c=21$ MPa (3,000 psi), para muros y losas	m ³	0.48
2	Concreto de $f'c=10.5$ MPa (1,500 psi), para solado de limpieza	m ³	0.045
3	Acero de refuerzo $f_y=420$ MPa (60,000 psi)	kg	32.29

CANTIDADES ESTRUCTURALES – TOTAL DEL PROYECTO (289,60 m)			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Concreto de $f'c=21$ MPa (3,000 psi), para muros y losas	m ³	139,00
2	Concreto de $f'c=10,5$ MPa (1,500 psi), para solado de limpieza	m ³	13,03
3	Acero de refuerzo $f_y=420$ MPa (60,000 psi)	kg	9.351,18





ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Concreto de $f'_c=21$ MPa (3,000 psi), para muros y losas	m ³	0.43
2	Concreto de $f'_c=10.5$ MPa (1,500 psi), para solado de limpieza	m ³	0.045
3	Acero de refuerzo A706 Gr.60 $f_y=420$ MPa (60,000 psi)	kg	23.36
4	Acero estructura A500 Gr.C $f_y=350$ MPa (50,000 psi)	kg	64.43

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Concreto de $f'_c=21$ MPa (3,000 psi), para muros y losas	m ³	11.29
2	Concreto de $f'_c=10.5$ MPa (1,500 psi), para solado de limpieza	m ³	1.18
3	Acero de refuerzo A706 Gr.60 $f_y=420$ MPa (60,000 psi)	kg	613.20
4	Acero estructura A500 Gr.C $f_y=350$ MPa (50,000 psi)	kg	1,691.29



Localización: Calle 100 No. 100-100, Bogotá, Colombia

Escala: 1:50

Página: 4/5

Propietario: Municipio de Bogotá

Fecha: 15/03/2023

Autores: ECOLG



CANTIDADES ESTRUCTURALES – POR METRO LINEAL			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1	Concreto de $f'_c=21$ MPa (3,000 psi), para muros y losas	m ³	0,99
2	Concreto de $f'_c=10,5$ MPa (1,500 psi), para solado de limpieza	m ³	0,075
3	Acero de refuerzo A706 Gr-60 $f_y=420$ MPa (60,000 psi)	Kg	83,99
4	Acero estructura A500 Gr C $f_y=350$ MPa (50,000 psi)	Kg	111,67

CANTIDADES ESTRUCTURALES - TOTAL DEL PROYECTO (7.30 m)		
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	Concreto de $f_c=21$ MPa (3,000 psi), para muros y losos	m ³ 6.50
2	Concreto de $f_c=10.5$ MPa (1,500 psi), para solado de limpieza	m ³ 0.55
3	Acero de refuerzo A706 Gr-60 $f_y=420$ MPa (60,000 psi)	kg 613.13
4	Acero estructura A500 GrC $f_y=350$ MPa (50,000 psi)	kg 558.35

