Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

MEJORAMIENTO VIAL CON ESTRUCTURA EN PAVIMENTO RÍGIDO UBICADA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE BARANOA, DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO.

DISEÑO ESTRUCTURAL BOX CULVERT.

VERSION: 1.0

ELABORO:
LUIS FERNANDO OLIVARES PEÑA
INGENIERO CIVIL
M.P 0820273687 ATL

BARANOA – ATLANTICO

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

Tipo de Documento: INFORME DE DISEÑO ESTRUCTURAL – BOX CULVERT		Título: MEJORAMIENTO VIAL CON ESTRUCTURA EN PAVIMENTO RÍGIDO UBICADA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE BARANOA, DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO.				
APROBACIÓN	Número de Revisión		4			
	Presentó	Nombre	Ing. Luis Fernando Olivares Peña			
		Firma				
		Fecha	Enero 2026			
	Revisó	Nombre				
		Firma				
		Fecha				
	Aprobó	Nombre				
		Firma				
		Fecha				

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice Versión	Capítulo Modificado	Fecha de Modificación	Observaciones

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

INTRODUCCIÓN

En el presente informe se presentan los estudios que soportan el diseño de la estructura de drenaje transversal tipo box culvert del proyecto "**MEJORAMIENTO VIAL CON ESTRUCTURA EN PAVIMENTO RÍGIDO UBICADA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE BARANOA, DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO.**", como son:

- El diseño estructural del tipo obras de drenaje transversal tipo box culvert,el cual se escogió por consideraciones de tipo económico, financieros, técnicos y de mantenimiento de estas, ajustado el diseño a las especificaciones establecidaspor la cartilla "Obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural", emitido por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS año 2.020.
- La cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales es una herramienta importante para el diseño y desarrollo de proyectos viales en Colombia rural.

A continuación, se citarán el origen, propósito, contenido y utilidad de la cartilla:

Origen y Propósito:

- ✓ La cartilla fue diseñada en el marco del programa Colombia Rural por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).
- ✓ Su objetivo principal es facilitar a las entidades municipales, contratantes, interventorías y entes de control la planeación, ejecución y seguimiento efectivo de obras menores de drenaje y estructuras viales en zona rurales.

- **Contenido y Utilidad:**

- ✓ La cartilla reúne los insumos necesarios para el diseño de proyectos viales.
- ✓ Proporciona directrices específicas para obras menores, como alcantarillas, puentes pequeños y otras estructuras.
- ✓ Contiene información técnica, criterios de diseño, especificaciones y recomendaciones para garantizar la calidad y seguridad de las obras.

- Se puede usar la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales – INVÍAS 2020 en una obra urbana porque:
  - ✓ Los principios hidráulicos y estructurales aplican igual en zonas urbanas.
  - ✓ La cartilla está basada en normas nacionales de obligatorio cumplimiento.
  - ✓ INVÍAS es autoridad técnica válida en ausencia de guías municipales.
  - ✓ Los criterios de diseño son conservadores y seguros para cualquier ambiente.
  - ✓ La obra sigue siendo una estructura vial de drenaje, independiente de su ubicación.
  - ✓ Garantiza uniformidad, trazabilidad y cumplimiento normativo

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

CAPITULO 1

ALCANCE Y OBJETIVO

1.1 ALCANCE

Documentar el diseño de estructuras de drenaje transversal tipo cajón (box culvert) en concreto hidráulico reforzado., cumpliendo con las características y especificaciones para este tipo de estructura, al igual que las estructuras de protección como son aletas, soleras entre otras estructuras.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

Diseñar las estructuras de paso del proyecto "**MEJORAMIENTO VIAL CON ESTRUCTURA EN PAVIMENTO RÍGIDO UBICADA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE BARANOA, DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO**".

1.2.2 Específicos

- Garantizar la capacidad de drenaje adecuada en el cual el box culvert sea capaz de manejar el caudal de agua esperado debido a las precipitaciones máximas en la zona de acuerdo con la frecuencia de diseño. Esto debe evitar inundaciones y el posible daño a las infraestructuras adyacentes.
- Asegurar la estabilidad estructural del box culvert para que sea capaz de resistir las cargas estructurales externas (por ejemplo, el peso de los vehículos, el suelo circundante, etc.), sin sufrir deformaciones o fallos.
- Minimizar la obstrucción y mantenimiento en box culvert para que no se obstruya con el tiempo debido a sedimentos, escombros o vegetación, lo que podría reducir su capacidad de drenaje y aumentar el riesgo de inundaciones.
- Establecer los costos finales de construcción del nuevo box culvert y sus elementos de protección que forman parte del proyecto.

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

CAPITULO 2

LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL PROYECTO

2.1 LOCALIZACION DEL PROYECTO.

La estructura de drenaje transversal a diseñar se encuentra ubicada en una vía perteneciente al municipio de Baranoa, Departamento del Atlántico. El sector vial donde se encuentra ubicada la estructura de drenaje transversal hará parte de un sistema integral comunicante de la calle 20ª entre carreras 13 y 14.
La estructura de drenaje transversal estará ubicada en el K0+55

SECTOR: CALLE 20ª ENTRE CARRERAS 13 Y 14



Imagen 1 : Ubicación obra drenaje transversal en vía calle 20ª entre carreras 13 y 14, Municipio de Baranoa, Departamento del Atlántico.
Fuente: Google Earth y Wikipedia

El sector donde se encuentra la obra de drenaje transversal a diseñar estructuralmente de acuerdo con los diseños de drenaje vial y geométrico es el siguiente:

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Tipo	Estructuras de drenaje transversal diseñadas				
	Ubicación	Sección hidráulica			Observación
		Box culvert		Alcantarilla circular	
	Abscisa	Base	Altura	Diámetro	
		m	m	m	
Alcantarilla cajón de una (1) celda	K0 + 55	1.00	1.00		.

Cuadro 1 : Ubicación de obras de drenaje transversal
Fuente : Propia

2.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO.

Básicamente el proyecto consta de diseños estructurales destinados para la construcción de uno (1) estructura de paso tipo alcantarillas tipo cajón (box culvert) en concreto hidráulico y sus obras de protección.

Las dimensiones de los diferentes elementos (muros y losas) que conformarán la estructuras de las alcantarilla tipo cajón (box culvert) y los elementos complementarios de protección, se regirán por los resultados obtenidos de acuerdo a los modelos registrados en cartilla Obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural", emitido por el Instituto Nacional deVías – INVIAS año 2.020, y para su posterior construcción serán tenidas en cuenta las normas del Instituto Nacional de Vías-INVIAS y de esta forma garantizar la estabilidad y funcionalidad de las estructuras.

CAPITULO 3
ESTUDIO DE SUELOS

A continuación, se describen a manera de resumen algunas consideraciones de orden técnico del estudio geotécnico EG-194 del 2025 realizado por la firma LCV INGENIERIA SAS:

El presente estudio se realizó como soporte de diseño a estructura vial tipo pavimento rígido y obra de drenaje transversal. Para el presente resumen se tomarán del estudio antes citado los datos correspondientes a las obras de drenaje transversal.

El sitio de trabajo fue el corredor ubicado en la calle 20ª entre carreras 13 y 14, ubicado en el Municipio de Baranoa, Departamento del Atlántico.

Es un sector que se encuentra en su gran mayoría de su extensión en condiciones topográficas planas.

El sector vial para este diseño en particular estar conformados por una calzada de ancho promedio de 6,0 m sin berma.

A continuación, se muestran las características climáticas de la zona del proyecto.

CARACTERISTICA	*VALOR*
Precipitación Máxima Mensual	943 mm
Temperatura Máxima Promedio	32°C
Temperatura Minina Promedio	25°C
Velocidad máxima de viento de diseño	130Km/h
Humedad relativa Máxima anual	84%
Humedad relativa media anual	80%
Altura sobre el nivel del mar	118 msnm
Nivel Ceráunico	60 días/año
Velocidad de Viento (figura B.6.4-1, Región 5 NSR 10)	130Km/h

A continuación, se muestran los ensayos realizados y sus respectivas especificaciones técnicas:

Tipo ensayo	Especificación
terminación en laboratorio del contenido de agua(humedad) de muestras de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado.	INV E -122-2013
terminación de los tamaños de las partículas de los suelos.	INV E -123-2013
terminación del Limite Liquido de los suelos.	INV E -125-2013
nite Plástico e Índice de Plasticidad de los suelos.	INV E -126-2013
R de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada.	INV E -148-2013

Se ejecutaron 2 sondeos programados y ejecutados a seis (6) metros de profundidad por métodos mecánicos bajo la normatividad ASTM D 1586, conocida como Ensayo de Penetración Estándar (STANDARD PENETRATION TEST, SPT).

A continuación, se muestran las ubicaciones de los sondeos:

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

DESCRIPCION	LATITUD	LONGITUD
SONDEO 1	10.956815	- 74.978507
SONDEO 2	10.956702	- 74.978423

A la fecha de exploración no se encontró presencia de Nivel de aguas freáticas, como producto de infiltraciones de escorrentías superficiales o productos de agua del subsuelo, lo que resulta beneficioso a la estructura a construir.

A continuación, se muestran las características geotécnicas de los materiales encontrados en cada uno de los sondeos.

GRANULOMETRIAS Y LIMITES DE ATTERBERG -SONDEOS									
DESCRIPCION	PROFUNDIDAD	TIPO DE SUELO	CLASIFICACION USC	% DE FINO	% DE ARENA	% DE GRAVAS	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD
Sondeo 1	0,00 - 0,50	Arena Limosa	SM	8,00	83,42	8,61	NP	NP	NP
	1,00 - 1,50	Arena Limo Arcillosa	SM-SC	32,20	67,77	0,00	20,58	14,12	6,46
	3,00 - 3,50	Arcilla	CL	50,20	49,84	0,00	24,77	12,80	11,97
	4,00 - 4,50	Arcilla	CL	61,20	38,83	0,00	30,53	15,10	15,43
Sondeo 2	0,00 - 0,50	Arena Limosa	SM	5,30	86,36	8,39	NP	NP	NP
	1,00 - 1,50	Arena Arcillosa	SC	39,90	60,15	0,00	20,53	13,37	7,16
	2,50 - 3,00	Arena Arcillosa	SC	26,70	73,33	0,00	23,44	13,15	10,29
	3,50 - 4,00	Arena Arcillosa	SC	26,70	73,33	0,00	33,61	16,71	16,90

A continuacion, se muestra la evaluacion del grado de expansividad de la subrasante:

Ubicación	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice Plasticidad	Clasificación USC	Grado de expansión por LL		Grado de expansión por IP		
					Chen	Norma IS 1498	Holtz y Gibbs	Chen	Norma IS 1498
Sondeo 1	NP	NP	NP	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	20,58	14,12	6,46	SM-SC	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	24,77	12,80	11,97	CL	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	30,53	15,10	15,43	CL	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio
Sondeo 2	NP	NP	NP	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	20,53	13,37	7,16	SC	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	23,44	13,15	10,29	SC	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	33,61	16,71	16,90	SC	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio

En los sondeos hay predominio de suelos SM, CL Y SC. Para tipo de suelo SM predomina grado de expansividad Bajo, para suelo tipo CL predomina grado de expansividad Medio y para suelo tipo SC

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

predomina grado de expansión Bajo.

Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones para materiales de suelo tomados de sondeos para estructuras de drenaje transversal:

- Los materiales del sitio son de regular a buena resistencia al esfuerzo cortante.
- A continuación, se analizarán las propiedades físico-mecánicas de los suelos del lugar tomados en los sondeos para establecer el tipo de cimentación apropiada y las consideraciones a tener en cuenta para un buen comportamiento de la estructura.

Arena Limosa

Contenido de Humedad	6.32 – 9.51%
Limite Liquido	NP
Limite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP
Cohesión	0.00 Ton/m2
Clasificación	SM
% Pasa tamiz No 200	5.30 – 8.00%

Arena Arcillosa

Contenido de Humedad	8.51 – 14.81%
Limite Liquido	20.53 – 33.61%
Limite Plástico	13.15 – 16.71%
Índice de Plasticidad	7.06 – 16.90%
Cohesión	0.20 Ton/m2
Clasificación	SC
% Pasa tamiz No 200	26.70 – 39.90%

Arcilla de baja compresibilidad

Contenido de Humedad	13.06 – 17.17%
Limite Liquido	24.77 – 30.53%
Limite Plástico	12.80 – 15.10%
Índice de Plasticidad	11.97 – 15.43%

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

Cohesión	2.00 Ton/m2
Clasificación	CL
% Pasa tamiz No 200	50.20 – 61.20%

- Para el cálculo de Coeficiente de empuje en reposo se considera la teoría de Rankine, partiendo del Coeficiente Poisson del material de sitio.
- Se debe tener en cuenta que, para determinar la consistencia de los suelos cohesivos y la compacidad de suelos granulares, se debe conocer el número de golpes obtenidos en la exploración de campo utilizando, equipos de percusión o Ensayo de Penetración Estándar (SPT). Por lo cual en la siguiente tabla se estipula, los parámetros para cada uno de los estratos evaluados, teniendo en cuenta los resultados de SPT.
- A continuación, se muestran las propiedades físico- mecánicas de los suelos en la zona del box coulvert teniendo en cuenta los resultados del ensayo SPT:

SONDEO 1			Corrección						
Profundidad (m)	Nspt	Tipo de suelo	N60	Compacidad / Consistencia	Coeficiente de Poisson	Coeficiente de Balasto	Angulo de friccion	Coeficiente Empuje de Tierra en Reposo (K0)	Coeficiente Empuje de Tierra Activo (Ka)
0,50	10	SM	6	Suelta	0,21	2,25	22,26	0,62	0,45
1,00	18	SM-SC	10	Medianamente Dura	0,23	4,05	24,74	0,58	0,41
1,50	18	SM-SC	10	Medianamente Dura	0,23	4,05	24,74	0,58	0,41
2,00	22	CL	12	Firme	0,24	3,20	25,77	0,57	0,39
2,50	30	CL	17	Muy Firme	0,31	4,43	27,58	0,54	0,37
3,00	21	CL	12	Firme	0,23	3,05	25,52	0,57	0,40
3,50	24	CL	14	Firme	0,26	3,51	26,25	0,56	0,39
4,00	27	CL	15	Firme	0,28	3,97	26,93	0,55	0,38
4,50	28	CL	18	Muy Firme	0,32	4,69	27,94	0,53	0,36
5,00	33	CL	21	Muy Firme	0,37	5,56	29,04	0,51	0,35
5,50	35	CL	22	Muy Firme	0,39	5,91	29,46	0,51	0,34
5,50	36	CL	23	Muy Firme	0,40	6,22	29,83	0,50	0,34
NAF	NA								

SONDEO 2			Corrección						
Profundidad (m)	Nspt	Tipo de suelo	N60	Compacidad / Consistencia	Coeficiente de Poisson	Coeficiente de Balasto	Angulo de friccion	Coeficiente Empuje de Tierra en Reposo (K0)	Coeficiente Empuje de Tierra Activo (Ka)

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

0,50	9	SM	5	Suelta	0,21	2,03	21,89	0,63	0,46
1,00	9	SC	5	Suelta	0,21	2,03	21,89	0,63	0,46
1,50	14	SC	8	Suelta	0,22	3,15	23,59	0,60	0,43
2,00	16	SC	9	Medianamente Dura	0,23	3,60	24,19	0,59	0,42
2,50	21	SC	12	Medianamente Dura	0,24	4,73	25,52	0,57	0,40
3,00	26	SC	15	Medianamente Dura	0,25	5,85	26,71	0,55	0,38
3,50	27	SC	15	Medianamente Dura	0,25	6,08	26,93	0,55	0,38
4,00	29	SC	16	Medianamente Dura	0,26	6,53	27,37	0,54	0,37
4,50	28	SC	18	Medianamente Dura	0,26	7,14	27,94	0,53	0,36
5,00	30	SC	19	Medianamente Dura	0,27	7,65	28,39	0,52	0,36
5,50	33	SC	21	Medianamente Dura	0,28	8,42	29,04	0,51	0,35
6,00	35	SC	22	Medianamente Dura	0,28	8,93	29,46	0,51	0,34

- La cimentación del box culvert estará constituida por la losa inferior de la estructura, la cual cumple simultáneamente funciones estructurales y de cimentación, distribuyendo las cargas hacia el suelo natural de apoyo.

- Técnicamente, el box culvert trabaja como una estructura rígida apoyada directamente sobre el terreno, por lo que su losa inferior cumple función estructural y geotécnica.

- El box culvert se apoyará sobre una cimentación superficial constituida por la losa inferior de la estructura, la cual distribuye las cargas al suelo de fundación.

- A continuación, se muestran los resultados de corrección de numero de golpes y calculo del Angulo de fricción:

NAF **NA**

SONDEO 1									Factores de Corrección				Corrección		
Profundidad (m)	Nspt	Tipo de suelo	Peso Unitario Seco Y (kN/m3)	Espesor del estrato (m)	Esfuerzo por cada estrato (kPa)	Esfuerzo acumulado (kPa)	Presión de Poros u (kPa)	Esfuerzo Efectivo σ´ (kPa)	nh (%)	nr	nb	ns	N60	CN	N1(60)
0,50	10	SM	19,00	0,50	9,50	9,50	0,00	9,50	45,0	0,75	1,0	1,0	6	2,3	13
1,00	18	SM-SC	18,00	0,50	9,00	18,50	0,00	18,50	45,0	0,75	1,0	1,0	10	1,9	19
1,50	18	SM-SC	18,00	0,50	9,00	27,50	0,00	27,50	45,0	0,75	1,0	1,0	10	1,7	17
2,00	22	CL	17,00	0,50	8,50	36,00	0,00	36,00	45,0	0,75	1,0	1,0	12	1,6	19
2,50	30	CL	17,00	0,50	8,50	44,50	0,00	44,50	45,0	0,75	1,0	1,0	17	1,4	24
3,00	21	CL	17,00	0,50	8,50	53,00	0,00	53,00	45,0	0,75	1,0	1,0	12	1,3	16
3,50	24	CL	17,00	0,50	8,50	61,50	0,00	61,50	45,0	0,75	1,0	1,0	14	1,3	17
4,00	27	CL	17,00	0,50	8,50	70,00	0,00	70,00	45,0	0,75	1,0	1,0	15	1,2	18
4,50	28	CL	17,00	0,50	8,50	78,50	0,00	78,50	45,0	0,85	1,0	1,0	18	1,1	20

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

5,00	33	CL	17,00	0,50	8,50	87,00	0,00	87,00	45,0	0,85	1,0	1,0	21	1,1	23
5,50	35	CL	17,00	0,50	8,50	95,50	0,00	95,50	45,0	0,85	1,0	1,0	22	1,0	23
5,50	36	CL	17,00	0,00	0,00	95,50	0,00	95,50	46,0	0,85	1,0	1,0	23	1,0	24

NAF **NA**

SONDEO 2									**Factores de Corrección**				**Corrección**		
Profundidad (m)	**Nspt**	**Tipo de suelo**	**Peso Unitario Seco Y (kN/m3)**	**Espesor del estrato (m)**	**Esfuerzo por cada estrato (kPa)**	**Esfuerzo acumulado (kPa)**	**Presión de Poros u (kPa)**	**Esfuerzo Efectivo σ´ (kPa)**	**n1**	**n12**	**n3**	**n4**	**N60**	**CN**	**N1(60)**
0,50	9	SM	19,00	0,50	9,50	9,50	0,00	9,50	45,0	0,75	1,0	1,0	5	2,3	12
1,00	9	SC	18,50	0,50	9,25	18,75	0,00	18,75	45,0	0,75	1,0	1,0	5	1,9	10
1,50	14	SC	18,50	0,50	9,25	28,00	0,00	28,00	45,0	0,75	1,0	1,0	8	1,7	13
2,00	16	SC	18,50	0,50	9,25	37,25	0,00	37,25	45,0	0,75	1,0	1,0	9	1,5	14
2,50	21	SC	18,50	0,50	9,25	46,50	0,00	46,50	45,0	0,75	1,0	1,0	12	1,4	17
3,00	26	SC	18,50	0,50	9,25	55,75	0,00	55,75	45,0	0,75	1,0	1,0	15	1,3	19
3,50	27	SC	18,50	0,50	9,25	65,00	0,00	65,00	45,0	0,75	1,0	1,0	15	1,2	19
4,00	29	SC	18,50	0,50	9,25	74,25	0,00	74,25	45,0	0,75	1,0	1,0	16	1,2	19
4,50	28	SC	18,50	0,50	9,25	83,50	0,00	83,50	45,0	0,85	1,0	1,0	18	1,1	20
5,00	30	SC	18,50	0,50	9,25	92,75	0,00	92,75	45,0	0,85	1,0	1,0	19	1,0	20
5,50	33	SC	18,50	0,50	9,25	102,00	0,00	102,00	45,0	0,85	1,0	1,0	21	1,0	21
6,00	35	SC	18,50	0,50	9,25	111,25	0,00	111,25	45,0	0,85	1,0	1,0	22	0,9	21

- Para el box culvert proyectado, la losa inferior se concibe como el elemento de cimentación de la estructura, dado que esta debe coincidir con la cota del fondo natural del cauce para garantizar la continuidad hidráulica del arroyo. En consecuencia, la profundidad de desplante inicial se define como el espesor de la losa inferior del box culvert. A dicha profundidad se evalúa la capacidad portante admisible del suelo, y con base en la comparación entre las presiones actuantes y la capacidad del terreno se determina la necesidad o no de implementar un sistema de mejoramiento de subrasante.

- A continuación, se muestran los valores del cálculo de la capacidad admisible de carga a varias profundidades de desplante:

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA: DETERMINAR Qadm

INSERTE LOS SIGUIENTES DATOS	
Unidades	Métricas
B (m, ft)	4
Df (m, ft)	0,35
D (m, ft)	2,65
ϕ' (°)	20
c' (kPa, lb/ft²)	1
γ (kN/m³, lb/ft³)	18,5
γSAT (kN/m³, lb/ft³)	10,5
Caso	3
Forma de la zapata	Cuadrada
F.S.	3
L (m, ft)	5

PROCESAMIENTO DE DATOS	
q (kN/m², lb/ft²)	6,48
γ̄ (kN/m³, lb/ft³)	12,49
Nq	6,40
Nc	14,83
Nγ	5,39

Capacidad última de carga	
q_u (kN/m², lb/ft²)	168,36

Capacidad admisible de carga	
q_{adm} (kN/m², lb/ft²)	56,12

Carga admisible en la zapata	
Q_{adm} (kN, lb)	897,93

Capacidad admisible de carga	
q_{adm} (Ton/m2)	5,72

Profundidad	Capacidad Portante	Tipo de Suelo
0.25	5.45	Arena con presencia de finos (SM, SC y/o SM-SC)
0.30	5.59	
0.35	5.72	
0.40	5.86	
0.45	5.99	
0.50	6.13	
0.55	6.27	
0.60	6.40	
0.65	6.54	
0.70	6.67	

- La capacidad portante recomendada para la cimentación es 5.59 TON/M2 a 0.30 mts de profundidad, sin incluir la estabilización del terreno con 0.30 mts de concreto ciclópeo.
- Si el suelo se somete al máximo esfuerzo admisible, se espera un asentamiento máximo de 19 mm. Se deberá verificar que los valores sean tolerables por la construcción e inferiores al rango permisible.

NOTA : Esta consultoría deja constancia que asumirá los valores de diseño pertinentes que considere necesario, lo mismo que tomar o descartar las recomendaciones técnicas propuestas por la empresa consultora en geotecnia a cargo de LCV INGENIERIA SAS.

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

CAPITULO 4

ESTUDIO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO

El estudio hidráulico e hidrológico para estructuras de drenaje transversal fue realizado por el ingeniero especialista Gustavo Camargo Arévalo. El citado documento es soporte para el diseño estructural de obras de drenaje transversal.

A continuación, se citan los aspectos más relevantes del informe:

- La metodología para el análisis y/o diseño de las obras de drenaje y la sección hidráulica se basó de acuerdo con los parámetros establecidos en el MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS – INVIAS 2009 y ESTRUCTURAS VIALES PROGRAMA COLOMBIA RURAL", EMITIDO POR EL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS – INVIAS AÑO 2.020.

- Para la estructura transversal se definieron para diseño la sección hidráulica siguiente:

Tipo	Estructuras de drenaje transversal diseñadas				
	Ubicación	Sección hidráulica			Observación
		Box culvert		Alcantarilla circular	
	Abscisa	Base	Altura	Diámetro	
		m	m	m	
Alcantarilla cajón de una (1) celda	K0 + 55	1.00	1.00		.

Cuadro 2 : Ubicación de obras de drenaje transversal
Fuente : Estudio hidráulico e hidrológico elaborado por ingeniero Gustavo Camargo Arévalo.

- De acuerdo al estudio hidráulico, hidrológico y de socavación se obtuvo para la zona do de se proyecta el box coulvert el siguiente valor de profundidad por socavación general:

No.	Abscisa	Ys (m)
1	K0+055.00	0.36

Cuadro 3 : Profundidad de socavación
Fuente : Estudio hidráulico e hidrológico elaborado por ingeniero Gustavo Camargo Arévalo.

Tenemos una profundidad de socavación general de 0.36m

CAPITULO 5

ESTUDIO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE BOX COULVERT

El análisis estructural de las alcantarillas tipo cajón (box culvert) se soporta de acuerdo con las consideraciones registradas en la cartilla Obras menores de drenaje y estructuras viales Programa ColombiaRural", emitido por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS año 2.020.

El ancho considerado de vía es de doble carril. El diseño de los Box Culvert, se basó en los métodos indicados en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes - LRFD - CCP 14. Para el presente estudio se tomó la sobrecarga del camión de diseño y/o camión Tándem, dado por la norma.

5.1. INFORMACIÓN BÁSICA.

- Ubicación: Obra de drenaje transversal ubicada en la calle 20ª entre carreras 13 y 14, Municipio de Baranoa, Departamento del Atlántico.

5.2. INFORMACIÓN DE DISEÑO.

Box culvert tipo No 1

- Sección hidráulica del box culvert será de (1,0 x 1,0) m
- Numero de celdas: 1
- Método de diseño: Norma Colombiana de Diseño de Puentes - LRFD - CCP 14
- Camión de diseño: C-40-95
- La sección estructural será:

✓ Muros: En concreto hidráulico y espesor de 0,25 m
✓ Losa superior: En concreto hidráulico y espesor 0,30m
✓ Losa inferior: En concreto hidráulico y espesor 0,25 m

- Materiales:

✓ Concreto hidráulico tendrá un Fc= 21 Mpa (3.000 psi)
✓ Acero tendrá un Fy = 420 Mpa (60.000 psi)

5.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

5.3.1. Análisis sísmico.

A continuación, se muestra lo registrado en el CCP-14 en el capítulo 3 "Cargas y factores de carga" , inciso 3.10 – Efectos sísmicos:

"No es necesario considerar los efectos sísmicos para alcantarillas en cajon (box culverts) y estructuras enterradas, excepto donde crucen fallas activas"

5.3.2. Consideraciones para alcantarillas tipo cajón (box culvert).

- El ancho considerado de vía es de doble carril. El diseño de los Box Culvert, se basó en los métodos indicados en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes - LRFD - CCP 14. Para el presente estudio se tomó la sobrecarga del camión de diseño y/o camión Tándem, dado por la norma.
- La cartilla antes citada considera para el componente geotécnico que el suelo de fundación tenga como parámetro la capacidad de carga admisible del suelo de fundación igual a 130 kN/m².
- La cartilla considera que el material de relleno tendrá los siguientes valores de diseño:
  Peso específico del relleno (δ) = 1,90Kn/m³
  Coeficiente Activo de presión de tierras (Ka) = 0,40
  Coeficiente de Presión lateral en reposo (ka)= 0,50

A continuación, se muestran los resultados del diseño estructural de los box culvert.

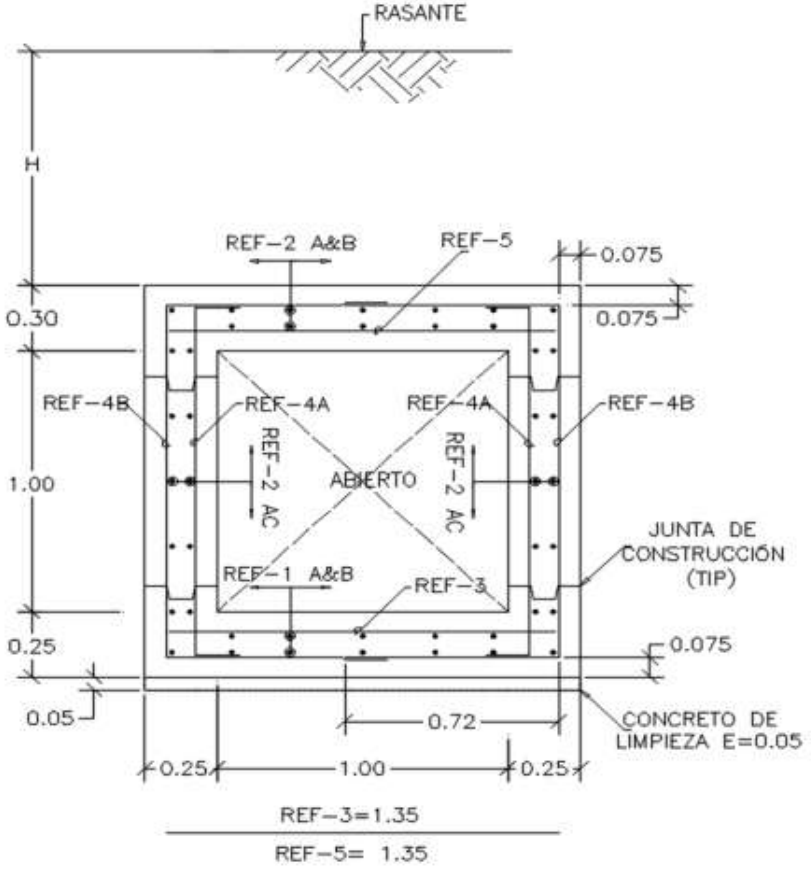
Box culvert tipo No 1

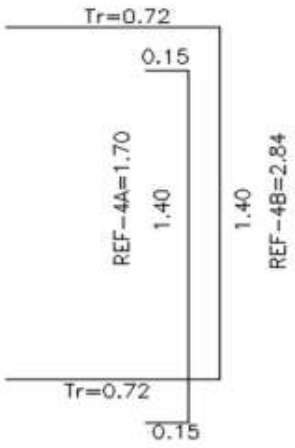
BOX COULVERT – H1=1.00 m x B=1.00 m										
ALTURA DEL RELLENO (H)	ESPESORES		REFUERZO					CANTIDADES DE OBRA		
	T	TI	REF – 1	REF – 2	REF – 3	REF – 4	REF – 5	CONCRETO m3/m	SOLADO m3/m	ACERO Kg/m
0.00 – 0.30	0.25	0.30	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.25	1/2" @0.20	1.33	0.08	98.54

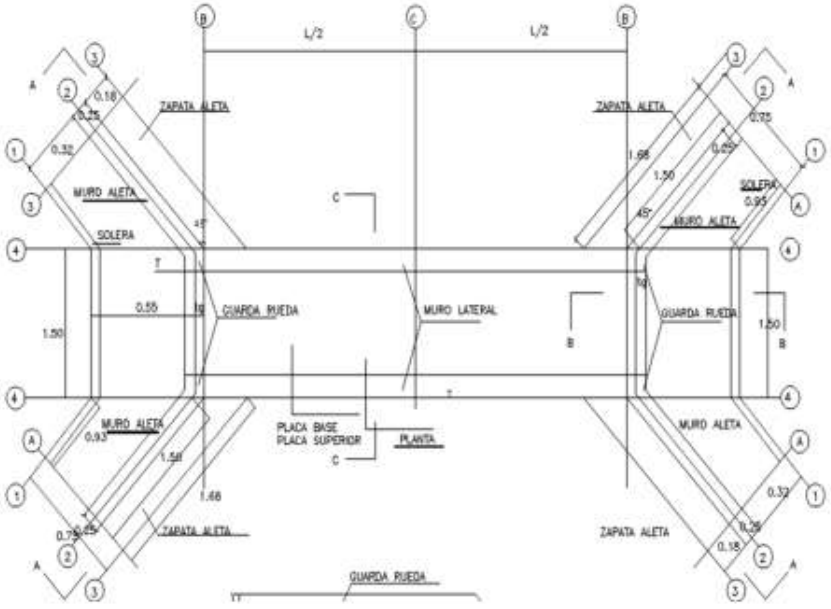
Cuadro 4 : Datos de diseño de box culvert
Fuente : Cartilla Obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural" - INVIAS año 2.0

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

GEOMETRIA BOX CULVERT – PLANTA FRONTAL







NOTAS GENERALES

1. LAS DIMENSIONES MOSTRADAS ESTÁN DADAS EN METROS, EXCEPTO CUANDO SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
2. RECUBRIMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXTERNo = 0.075 m INTERNO= 0.05m.
3. NORMA DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES
   - NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES–LRFD–CCP–14.
   - NORMAS DE ENSAYO DE MATERIALES PARA CARRETERAS. I. VERSIÓN 2013.
   - ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN PARA CARRETERAS–INVIAS VERSIÓN 2022.
4. MÉTODO DE DISEÑO
   - LAS DISPOSICIONES DE DISEÑO PARA LOS MUROS, SIGUIERON EL MÉTODO CON FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA–LRFD.
5. CARGAS DE DISEÑO
   - PESO ESPECÍFICO DEL HORMIGÓN: 24 kN/m³.
6. MATERIALES
   - RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO: f'c= 21 MPa (Clase D).
   - RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CONCRETO SIMPLE PARA SOLADOS. f'c= 14 MPa (Clase F).
   - ESFUERZO DE FLUENCIA DEL ACERO DE REFUERZO: fy= 420 MPa.
   - RELLENO MATERIAL FILTRANTE: ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS ARTÍCULO 610.2.4.
   - GEOTEXTIL: NT.
   - PARÁMETROS GEOTÉCNICOS UTILIZADOS EN EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS BOX CULVERT:

MATERIAL DE RELLENO:

- PESO ESPECÍFICO DEL RELLENO: ɣ=19.0 kN/m³.
- COEFICIENTE ACTIVO DE PRESIÓN DE TIERRAS Ka = 0.40.
- COEFICIENTE DE PRESIÓN LATERAL DE SUELO EN REPOSO; ko= 0.50.

SUELO DE FUNDACIÓN:

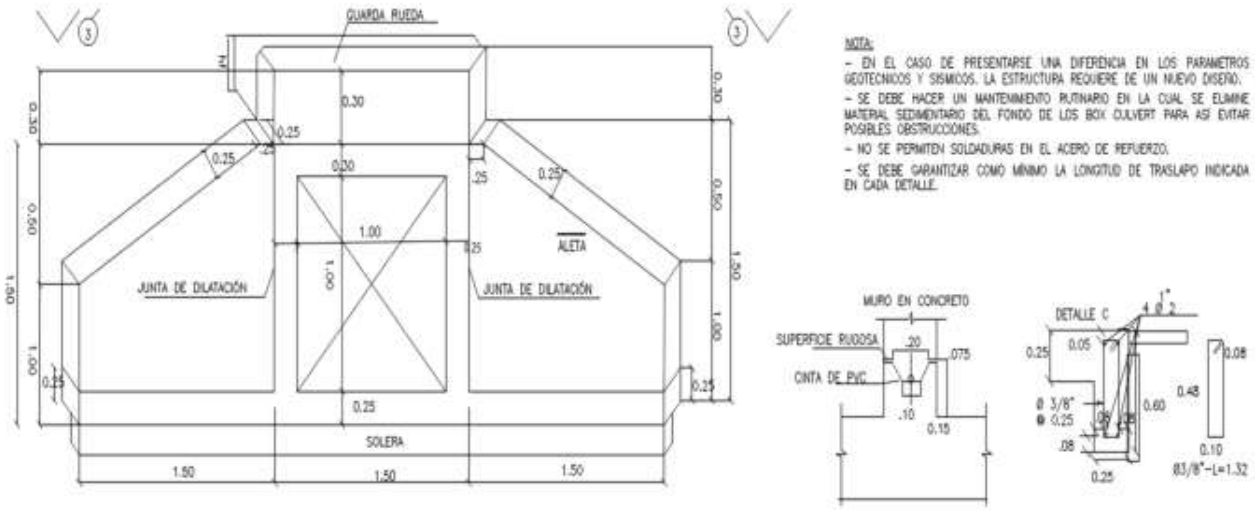
- CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE DEL SUELO DE FUNDACIÓN= 130.0 kN/m².

PARÁMETROS SÍSMICOS:

- COEFICIENTE DE ACELERACIÓN PICO DEL SUELO: Aa <= 0.30.

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos



Nota : Unidades en metro

Imagen 2 : Diseño estructural box culvert de sección hidráulica (1.0 x 1.0) m
Fuente: Cartilla Obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural" - INVIAS año 2.020

El presente diseño para alcantarilla tipo cajón (box culvert) se regirá de acuerdo a lo estipulado en la Cartilla Obras menores de drenaje y estructuras viales – Programa Colombia Rural INVIAS 2020 y el Manual de drenaje para carreteras INVIAS 2009.

Las alcantarillas tipo cajón (box culvert) para su proceso constructivo se regirán como mínimo de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes como son las INVIAS 220-2022; INVIAS 600-2022; INVIAS 610-2022; INVIAS 630-2022; INVIAS 640-2022.

El manual de drenaje del INVIAS 2009 estipula pendientes de diseño de las alcantarillas entre 0.50% hasta el 5.00%. La pendiente mínima de 0,50% aplicara para condiciones donde no haya mucho material de arrastre y la del 5.00% se aplicará en las condiciones de haber mucho material de sedimento con el fin de que la misma alcantarilla tenga condiciones de "auto lavado" sin generar condiciones de socavación debido a las velocidades de circulación que se puedan generar por pendientes mayores. Por lo general se trabaja con una pendiente del 2.00%.

Las alcantarillas de cajón son adecuadas cuando trabajan bajo condiciones de compresión moderada o rellenos muy bajos; cuando las cargas de relleno aumentan; o cuando las presiones hidrostáticas internas son mayores que las cargas exteriores, esta forma de alcantarilla se hace menos económica.

Las alcantarillas tipo cajón de varias celdas se adaptan a rellenos moderados y a largos cursos de agua; son ventajosas cuando la pendiente del terreno es fuerte y la altura de relleno está restringida. En estas alcantarillas no se presentan problemas de fundación; sobre suelos que no soportan compresión o que tienen baja capacidad de carga, las presiones se distribuyen de forma más uniforme y sobre un área más ancha que en los otros tipos de alcantarillas; el asentamiento es menos probable y, por lo tanto, disminuye la posibilidad de hundimientos en la vía. En fundaciones sobre roca, el espesor de la losa de fondo puede ser reducido y, a veces, hasta eliminado mediante el uso de pequeñas bases.

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

Las alcantarillas tipo cajón (box culvert) de concreto hidráulico reforzado y de de secciones rectangular o cuadrada pueden ubicarse a niveles que se requiera, como colocarse de tal manera que el nivel de la rasante coincida con el nivel superior de la losa o debajo del terraplén. Generalmente, se recomienda emplear este tipo de alcantarillas cuando se tiene la presencia de suelos de fundación de mala calidad.

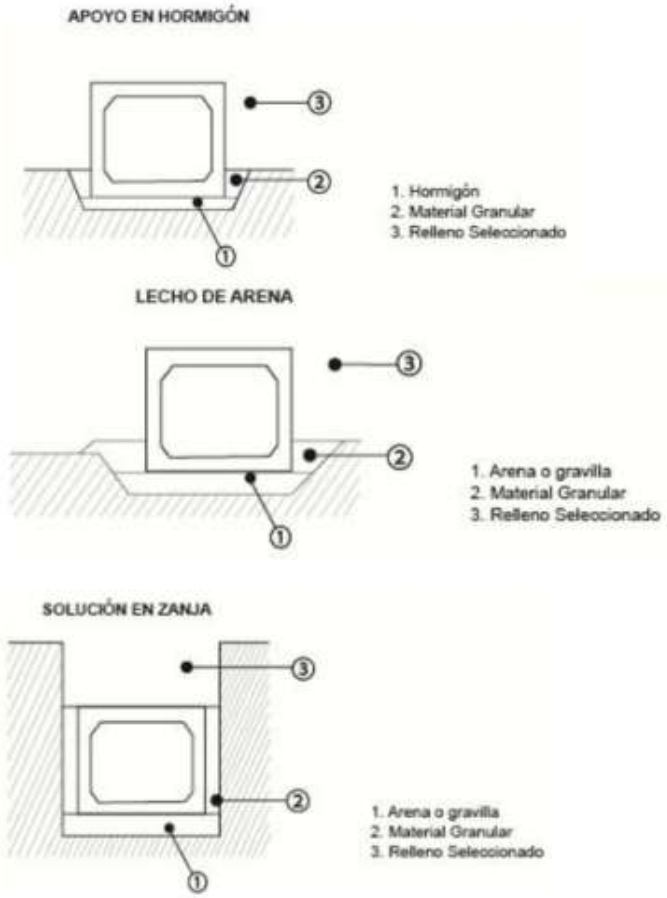


Imagen 3: Esquemas de cimentaciones de alcantarillas tipo cajón.
Fuente : Manual de diseño de cimentaciones para cimentaciones superficiales y profundas para carreteras INVIAS 2012

De acuerdo con el Manual de drenaje de carreteras (INVÍAS, 2009), en los casos donde existen terraplenes bajos o de topografías planas, el empleo de alcantarillas de cajón, con bajos recubrimientos (rellenos), resulta más conveniente.

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

CUADRO RESUMEN BOX CULVERT Y OBRAS COMPLEMENTARIAS

Ubicación	Box culvert												Aletas					
	Sección hidráulica		Numero de celdas	Espesor muro	Espesor losa superior	Espesor losa fondo	Cantidades de obra			Especificaciones de diseño			Cantidades de obra			Especificaciones de diseño		
	Base	Altura					Concreto	Solado	Acero	Concreto Box culvert	Concreto Solado	Acero	Concreto	Solado	Acero	Concreto Aletas	Concreto Solado	Acero
	m	m		m	m	m	m3/m	m3/m	kg/m	Mpa	Mpa	Mpa	m3	m3	kg	Mpa	Mpa	Mpa
K0+55	1.00	1.00	1	0.25	0.30	0.25	1.33	0.08	98.54	21.00	14.00	420.00	3.18	0.41	187.06	21.00	14.00	420.00

Cuadro 5: Cantidades de obras y especificaciones de diseño para box culvert
Fuente : Cartilla Obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural" - INVIAS año 2.020

Nota : Como anexo se dan planos de detalles con las medidas y especificaciones de diseño escogidas.

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

5.4. CONSIDERACIONES DE VARIABLES TECNICAS QUE SOPORTEN LA NECESIDAD DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE EN ZONA DE CIMENTACIÓN EN OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL.

Teniendo en cuenta lo registrado en el estudio geotécnico para el sector vial, en donde de acuerdo con las características geotécnicas, se recomienda el mejoramiento de la subrasante. El sector intervenido corresponde al tramo vial ubicado en la calle 20ª entre carreras 13 y 14. En el anterior tramo citado se encuentran referenciados uno (1) sector donde se diseñó estructura de drenaje transversal y que corresponden a la ubicación de las abscisas K0+55.

A continuación, se muestran las diferentes consideraciones de variables técnicas que soporten la necesidad de mejoramiento de subrasante en la zona de cimentación en obra de drenaje transversal:

- Tipo de cimentación y su profundidad de desplante.
- Clasificación y características geotécnicas del suelo.
- Nivel freático.
- Expansividad.
- Capacidad admisible.
- Profundidad de socavación.
- Asentamiento total estimado
- Riesgo de asentamiento diferencial
- Tipo y mecanismo de socavación
- Interacción suelo–estructura
- Condiciones constructivas y durabilidad

Las consideraciones antes registradas y planteadas para la evaluación de la necesidad de mejoramiento de la subrasante son válidas y constituyen el conjunto mínimo requerido para el diseño de la cimentación del box culvert, lo anterior debido a la naturaleza rígida de la estructura y a su interacción directa con procesos hidráulicos y geotécnicos, con el fin de garantizar la funcionalidad, durabilidad y seguridad de la obra. La evaluación integral de estos criterios permite sustentar de manera objetiva la necesidad o no de implementar un mejoramiento de la subrasante.

5.4.1. Tipo de cimentación y su profundidad de desplante.

5.4.1.1. Tipo de cimentación a implementar para box coulvert.

Aunque no existe un criterio único, generalmente se denomina cimentación superficial a aquella en la que la profundidad del plano de apoyo es inferior al ancho de la cimentación (entre 0,25 y 1), comprendiendo normalmente entre 0,5 y 4 metros.

Otra propuesta dice que las cimentaciones superficiales se definen cuantitativamente de forma aproximada y arbitraria como aquellas en las que la relación entre su empotramiento, conocida también como profundidad de desplante (D) y su ancho (B) verifica por la siguiente ecuación:

$$\frac{D}{B} < 4.00$$

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

Los terrenos que permiten la construcción de cimentaciones superficiales son aquellos que en sus primeras capas están compuestos por rocas, suelo granular (arenas o gravas) cuya deformabilidad sea baja o media o terrenos arcillosos de alta resistencia.

Así mismo, será imprescindible que los asientos generados en el suelo tras la aplicación de las cargas no sean excesivos debido a que esto podría provocar un mal funcionamiento de la estructura.

La cimentación superficial es aquella en donde la superficie de contacto entre el terreno y la estructura se encuentra por debajo el terreno que la rodea a una profundidad pequeña comparada con el ancho de la cimentación. Las cimentaciones superficiales podrán utilizarse para sostener estructuras viales como es el caso de puentes, estructuras de contención, **obras de drenaje**, túneles, obras subterráneas y señales verticales, siempre y cuando las condiciones del proyecto así lo permitan.

Un cimiento superficial mayormente es considerado a aquel que reparte las cargas a los demás estratos del suelo, y también a la roca en profundidades que se encuentran cercanas a la superficie (menos de 3 m). Las fundaciones superficiales son usadas para el apoyo de puentes, edificios, alcantarillas, muros de cimentación, box culverts y otras estructuras de soporte. Entre las cimentaciones profundas y superficiales, las superficiales no solo consisten en zapatas aisladas, también incluyen a los cimientos continuos y placas flotantes. El tipo de fundación superficial que se deba utilizar se basará en la estructura que se apoyará.

A pesar de que las cimentaciones superficiales sean utilizadas para el soporte de estructuras de contención, puentes y obras de drenaje, la cimentación somera no podrá ser usada en los siguientes casos:

- Cuando la cimentación se vea afectadas por la acción de la socavación.
- En terraplenes.
- Bajo muros de tierra armada.
- En suelos susceptibles de licuación.

Condiciones de utilización de cimentaciones profundas:

- No se encuentra ningún apoyo en una profundidad alcanzable con zapatas.
- Se desea disminuir los asentamientos de la estructura.
- Las condiciones del terreno a trabajar no permiten la ejecución de cimentaciones superficiales.
- Las cargas son muy fuertes y concentradas.

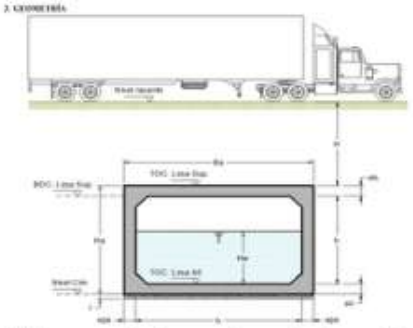


Imagen 4: Esquemas de cimentaciones de alcantarillas tipo cajón
Fuente : Diseño de alcantarillas- Universidad Central de Venezuela.

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

Las cimentaciones superficiales para que tengan un buen desempeño deben presentar dos características principales la cual uno es que tiene que ser seguras contra la falla general por corte del suelo que las soporta y segundo que no pueden experimentan un desplazamiento, o un asentamiento excesivo. (Das, 2011 pág. 113).

Los factores que influyen en la determinación de la capacidad portante del suelo son parámetros geotécnicos como la cohesión, el ángulo de fricción interna y el peso específico del suelo, la profundidad de la cimentación y las diversas geometrías que adopta la cimentación, que son de los que depende mucho la estabilidad y la toma de decisiones.

Por ser una estructura de complejidad baja a construir, la cimentación adecuada es la superficial mediante estructuras monolíticas en construcción. En este caso al momento de construirse la losa de fondo, los muros deben hacer parte del mismo conjunto, mediante el acero que se arma desde la losa fondo y se lleva hasta estos muros laterales. La losa de fondo se implantará sobre superficie del terreno previamente mejorada y llevadas sobre toda la longitud amarrada ó una sola estructura para evitar asentamientos diferenciales que se reflejaran sobre esta estructura.

El tipo de cimentación para alcantarillas tipo cajón y circulares se asemeja al presente diseño al tipo losa. La cimentación por losa se utiliza en terrenos menos resistentes o heterogéneos, especialmente para tensiones admisibles menores a 0,15 N/mm^2 (15 ton/m^2). Es económica si la superficie de la cimentación supera la mitad de la extensión que ocupa el edificio. Una ventaja adicional es que anula o reduce los asientos diferenciales.

En cuanto al tipo de cimentación a implementar para el box coulvert, para la selección del tipo de cimiento se tuvieron en cuenta factores relativos a la estructura, al subsuelo (propiedades mecánicas, condiciones hidráulicas, resistencia, compresibilidad, etc) y factores económicos que deben balancear el costo de la cimentación en comparación con la importancia y el costo mismo de la obra.

La estructura proyectada corresponde a un box culvert en concreto reforzado, destinado a la conducción de aguas bajo la infraestructura vial. Desde el punto de vista geotécnico, este tipo de estructura se comporta como un elemento rígido que transmite las cargas verticales y horizontales al terreno de fundación mediante una cimentación superficial.
La cimentación del box culvert estará constituida por la losa inferior de la estructura, la cual cumple simultáneamente funciones estructurales y de cimentación, distribuyendo las cargas hacia el suelo natural de apoyo.

Técnicamente, el box culvert trabaja como una estructura rígida apoyada directamente sobre el terreno, por lo que su losa inferior cumple función estructural y geotécnica.

El box culvert se apoyará sobre una cimentación superficial constituida por la losa inferior de la estructura, la cual distribuye las cargas al suelo de fundación.

De acuerdo con las condiciones del proyecto y con base en los resultados del estudio geotécnico, se recomienda una cimentación superficial tipo losa de fondo, integrada a la estructura del box culvert.

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Este tipo de cimentación es técnicamente adecuado debido a:

- Las dimensiones del box culvert, que permiten una distribución uniforme de cargas.
- La presencia en los sondeos de suelos de tipo granular fino (SM), arena arcillosa (SC) y arcilloso de baja a media plasticidad (CL).
- La ausencia de estratos orgánicos, rellenos antrópicos o suelos altamente compresibles en la zona de apoyo.
- No se requiere el uso de cimentaciones profundas, siempre que se garantice la correcta preparación del terreno de fundación.

De acuerdo con los resultados de la exploración geotécnica y los parámetros obtenidos, se recomienda que el box culvert se funde mediante cimentación superficial directa tipo losa de fondo, apoyada sobre estratos de suelos predominantes del tipo arenas limosas (SM).

La losa inferior del box culvert será la cimentación, porque:

- Recibe todas las cargas:
- Peso propio del box
- Sobrecarga de relleno
- Cargas de tránsito
- Empujes hidrostáticos (si aplica)
- Transfiere esas cargas directamente al suelo
- Funciona como una losa de reparto

No existe un elemento de cimentación adicional (como zapatas o pilotes), salvo que el suelo sea inadecuado.

Las características del suelo permiten el uso de una cimentación superficial tipo losa de fondo, siempre que se garantice una adecuada capacidad portante y control de asentamientos.

5.4.1.2. Profundidad de la cimentación.

La profundidad de la cimentación de un box culvert es la distancia vertical medida desde el terreno natural existente hasta el nivel de desplante de la losa inferior, definido como la cota donde la estructura apoya directamente sobre un estrato de suelo competente, homogéneo y estable.

- No es el espesor de la losa
- No es una profundidad "constructiva arbitraria"
- Sí es una decisión geotécnica basada en el suelo

A continuación, se citarán los criterios técnicos que controlan la profundidad de la cimentación:

- **Estratigrafía y tipo de suelo (criterio principal)**

Se selecciona el primer estrato competente que cumpla:

- ✓ Capacidad portante suficiente
- ✓ Baja compresibilidad
- ✓ Homogeneidad lateral
- ✓ Ausencia de materia orgánica o rellenos

Para box culverts NO se busca el estrato más profundo, sino el mejor estrato superficial.

- **Control de asentamientos**

La profundidad debe permitir que:
✓ Los asentamientos totales sean pequeños
✓ Los asentamientos diferenciales sean mínimos
✓ El comportamiento sea compatible con una estructura rígida

En general:
✓ Suelos granulares generan profundidades menores
✓ Arcillas compresibles generan mayor profundidad o mejoramiento

- **Condiciones hidráulicas**

Se debe evitar:
✓ Apoyar sobre suelos saturados inestables
✓ Subpresiones bajo la losa
✓ Erosión o piping

La profundidad puede aumentar si:
✓ El nivel freático es alto
✓ Hay flujo subterráneo permanente

- **Condiciones constructivas**

La profundidad debe permitir:
✓ Excavación estable
✓ Preparación adecuada del fondo
✓ Colocación de capa de limpieza

Para el box culvert proyectado, la losa inferior se concibe como el elemento de cimentación de la estructura, dado que esta debe coincidir con la cota del fondo natural del cauce para garantizar la continuidad hidráulica del arroyo. En consecuencia, la profundidad de desplante inicial se define como el espesor de la losa inferior del box culvert. A dicha profundidad se evalúa la capacidad portante admisible del suelo, y con base en la comparación entre las presiones actuantes y la capacidad del terreno se determina la necesidad o no de implementar un sistema de mejoramiento de subrasante.

A continuación, se dan las pertinentes justificaciones técnicas del por qué esta solución es funcional, segura, económica y durable:

<u>Funcional (hidráulica)</u>

- No eleva la solera del cauce
- Mantiene el régimen de flujo previsto
- Evita reboses y remansos

<u>Segura (estructural y geotécnica)</u>

- Se verifica capacidad portante real

- Se controla asentamiento
- Se permite redistribución de cargas

Económica

- Evita excavaciones profundas
- Reduce volumen de concreto
- Minimiza manejo de aguas y entibados

Durable

- Menor exposición a socavación profunda
- Permite incluir protección hidráulica
- Facilita mantenimiento

El tipo de cimentación se diseña según las condiciones del suelo y la relación entre las cargas aplicadas y la resistencia de las estructuras de drenaje transversal. Por las anteriores consideraciones geotécnicas, es recomendable para recibir las cargas importantes del proyecto a partir de las siguientes cotas:

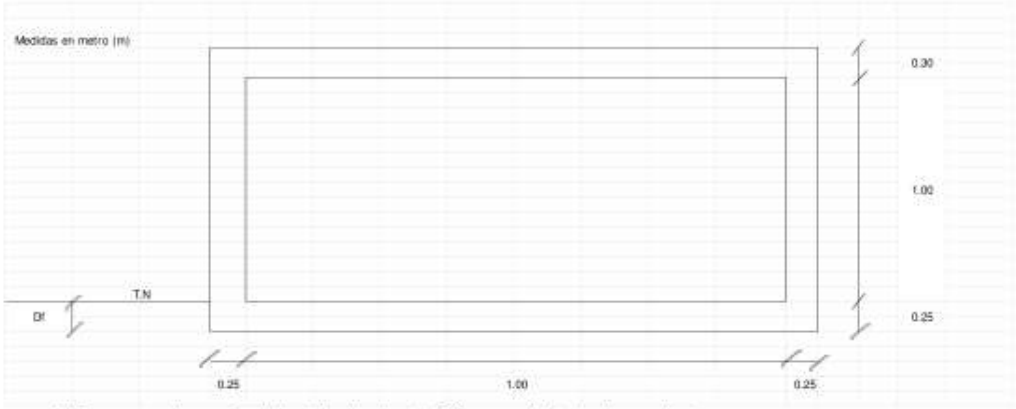


Imagen 5: Esquemas de profundidad de desplante (Df) para cimiento box culvert.
Fuente : Propia

Tipo	Dimensiones (m)	Profundidad de desplante (m)
Alcantarilla tipo cajón (B x H)	1.00 x 1.00	0.25

Cuadro 6: Propiedades de diseño box culvert
Fuente : Propia

5.4.2. Clasificación, características y análisis del suelo.

El mejoramiento de la subrasante se basará en los indicadores geotécnicos en base a las características físicas del suelo (tipo de suelo, humedad, Limites de Attemberg, potencial de expansión y capacidad portante) y de la presencia del Nivel Freático. Además, se avaluarán las recomendaciones que al respecto se manifiesten en dicho estudio de suelos.

Teniendo en cuenta que la estructura de drenaje transversal corresponde a una alcantarilla tipo cajón (box coulvert) en donde su profundidad de desplante en la subrasante corresponde al espesor de la losa inferior del box culvert, es necesario a ese nivel determinar cuál es el tipo de suelo predominante y así evaluar la conveniencia o no de mejoramiento de la subrasante. De acuerdo al estudio de suelos para la profundidad de desplante (espesor de la losa inferior box coulvert) tenemos los siguientes valores:

Sondeo	Profundidad (m)	Tipo de suelo
1	0.25	SM
2	0.25	SM

Cuadro 7: Tipo de suelo subrasante
Fuente : Estudio de suelos LCV INGENIERIA SAS

De acuerdo a los tipos de suelos registrados en el cuadro anterior, se tomará el de las condiciones mas desfavorables de acuerdo a sus indicadores geotécnicos. Para el caso se tomará el suelo tipo arena limosa (SM). Esta elección se basa en las siguientes implicaciones geotécnicas desfavorables:

Baja capacidad portante: Las arenas limosas tienen una baja cohesión y, debido a su contenido de limo (partículas finas), pueden ser menos estables que suelos más gruesos como las arenas gruesas o gravas. Esto significa que, en su estado natural, estas arenas pueden tener una baja capacidad portante, lo que podría generar asentamientos excesivos o desplazamientos bajo cargas pesadas, como las que impone un box culvert.
Sensibilidad a la humedad: Las arenas limosas son sensibles a la humedad y, al ser un material compuesto de partículas finas, pueden sufrir expansión o reducción cuando se mojan o se secan. Esto puede generar deformaciones no deseadas en la subrasante, afectando la estabilidad a largo plazo de la estructura.
Problemas con el drenaje: El limo en la arena reduce la capacidad de drenaje del suelo. Aunque las arenas son generalmente materiales con buena permeabilidad, el contenido de limo puede disminuir significativamente esta propiedad, haciendo que el suelo no sea capaz de drenar adecuadamente el agua. Esto puede aumentar el riesgo de saturación de la subrasante.

Teniendo en cuenta que para el presente diseño se ha considerado que la cimentación estaría apoyada sobre un suelo tipo arena limosa (SM). El apoyo del box culvert sobre un suelo clasificado como arena limosa (SM) tiene implicaciones geotécnicas directas en el diseño estructural, debido a las características mecánicas, hidráulicas y de deformación propias de este tipo de material. El comportamiento de un suelo tipo SM en la cimentación del box culvert puede presentar varios inconvenientes debido a las características específicas de este tipo de suelos. A continuación, se describen los inconvenientes con este tipo de suelo:

Capacidad portante media y dependiente de la densidad.

Los suelos tipo SM presentan una capacidad portante moderada, altamente dependiente del grado de compactación y de la densidad relativa. En el nivel de desplante evaluado, la capacidad portante

admisible calculada corresponde a un valor del orden de 10–12 ton/m², lo cual implica que el diseño estructural debe:

- Limitar las presiones transmitidas por la losa inferior.
- Garantizar una distribución uniforme de cargas.
- Evitar concentraciones de esfuerzos bajo la estructura.

En consecuencia, la losa inferior del box culvert debe comportarse como un elemento rígido de reparto, y no como un elemento apoyado sobre puntos discretos.

Predominio de asentamientos inmediatos.

Al tratarse de un suelo predominantemente granular, los asentamientos que se desarrollan en suelos tipo SM son asentamientos inmediatos, los cuales se producen de forma prácticamente simultánea con la aplicación de cargas. Esto implica que:

- No se esperan asentamientos por consolidación a largo plazo.
- El diseño estructural debe ser capaz de absorber pequeños asentamientos diferenciales iniciales, especialmente durante la puesta en servicio.
- La rigidez de la losa inferior y la continuidad estructural del box son factores críticos para evitar fisuración.

Susceptibilidad a pérdida de soporte por socavación y erosión interna.

Las arenas limosas presentan susceptibilidad moderada a alta a procesos de erosión y lavado de finos, particularmente cuando se encuentran asociadas a estructuras hidráulicas. Para el diseño estructural esto implica que:

- La losa inferior puede quedar parcialmente descalzada si no se adoptan medidas de protección.
- Debe considerarse la posibilidad de pérdida local de apoyo, lo cual incrementa los momentos flectores en la losa.
- Se vuelve necesario diseñar la losa considerando escenarios de apoyo no uniforme.

Sensibilidad a variaciones del régimen hidráulico.

Aunque durante la exploración no se detectó nivel freático, los suelos SM pueden saturarse temporalmente durante crecientes o eventos extremos. Esto implica:

- Reducción temporal de la capacidad portante efectiva.
- Disminución de la rigidez del apoyo.
- Incremento de deformaciones bajo carga.

Por tanto, el diseño estructural debe considerar condiciones desfavorables de saturación y no únicamente el estado seco observado en campo.

Baja plasticidad y ausencia de expansión (ventaja geotécnica)

Desde el punto de vista favorable:

- Los suelos SM presentan baja plasticidad o condición no plástica (NP).

- No se asocian a fenómenos de expansión o retracción volumétrica.

Esto reduce:
- Esfuerzos inducidos por cambios volumétricos.
- Daños por ciclos húmedo–seco.

No obstante, esta ventaja no compensa por sí sola los riesgos asociados a la erosión y a la capacidad portante moderada.

Implicaciones directas en el diseño estructural del box culvert

Como consecuencia de las características anteriores, el diseño estructural del box culvert apoyado sobre suelo tipo SM debe:
- Verificar la losa inferior como placa apoyada sobre un medio deformable, no como apoyo rígido.
- Considerar coeficientes de seguridad adecuados frente a flexión y cortante.
- Limitar la presión de contacto suelo–estructura por debajo de la capacidad portante admisible.
- Incorporar, cuando sea necesario, un mejoramiento de subrasante que incremente la rigidez y uniformidad del apoyo.

Como conclusión de tipo técnico tenemos que el apoyo del box culvert sobre un suelo tipo arena limosa (SM) implica que la estructura se funde sobre un terreno de capacidad portante media, con asentamientos predominantemente inmediatos y con susceptibilidad a procesos de erosión y pérdida de soporte, particularmente en un entorno hidráulico activo. En consecuencia, el diseño estructural debe garantizar una adecuada distribución de cargas mediante una losa inferior suficientemente rígida y, de ser necesario, complementarse con un sistema de mejoramiento de subrasante que asegure la estabilidad, durabilidad y correcto desempeño de la estructura.

5.4.3. Calculo y análisis del nivel freático.

En época de verano fecha de la exploración de campo, no se detectó presencia de nivel freático en los sondeos.

5.4.4. Calculo y análisis de potencial de expansión para la subrasante.

Se procede a realizar un análisis para la subrasante de potencial de expansión en base a la norma I.N.V.E 132-2013 – Determinación de suelos expansivos. De acuerdo con el numeral 3 de la norma, se evaluarán en base a los Limites Líquidos y Plástico como se muestran en los siguientes cuadros:

GRADO DE EXPANSIÓN	LÍMITE LÍQUIDO	
	CHEN	NORMA IS 1498
Bajo	< 30	20 – 35
Medio	30 – 40	35 – 50
Alto	40 – 60	50 – 70
Muy alto	> 60	70 - 90

Cuadro 8: Predicción de la expansividad en base al Limite Liquido
Fuente: Norma I.N.V.E 132 -2013

GRADO DE EXPANSIÓN	ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
	HOLTZ Y GIBBS	CHEN	NORMA IS 1498
Bajo	< 20	0 – 15	< 12
Medio	12 – 34	10 – 35	12 – 23
Alto	23 – 45	20 – 55	23 – 32
Muy alto	> 32	> 35	> 32

Cuadro 9: Predicción de la expansividad en base al Índice de Plasticidad
Fuente: Norma I.N.V.E 132 -2013

Ubicación	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice Plasticidad	Clasificación USC	Grado de expansión por LL		Grado de expansión por IP		
					Chen	Norma IS 1498	Holtz y Gibbs	Chen	Norma IS 1498
Sondeo 1	NP	NP	NP	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	20,58	14,12	6,46	SM-SC	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	24,77	12,80	11,97	CL	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	30,53	15,10	15,43	CL	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio
Sondeo 2	NP	NP	NP	SM	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	20,53	13,37	7,16	SC	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	23,44	13,15	10,29	SC	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	33,61	16,71	16,90	SC	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio

Cuadro 10: Propiedades geotécnicas suelos
Fuente: Estudio de suelos realizado por la firma LCV INGENIERIA SAS

Evaluando por Sondeo, vemos que:
Sondeo No 1 hay predominio de suelos SM y CL . Para tipo de suelo SM predomina grado de expansividad Bajo, para suelo tipo CL predomina grado de expansividad Medio. Ahora, para la profundidad de desplante, vemos que hay predominio de suelo tipo SM con un grado de expansión Bajo.
Sondeo No 2 hay predominio de suelos SC y en menor proporción SM . Para tipo de suelo SM predomina grado de expansividad Bajo, para suelo tipo SC predomina grado de expansividad Bajo. Ahora, para la profundidad de desplante, vemos que hay predominio de suelo tipo SM con un grado de expansión Bajo.

En términos generales evaluando los sondeos para la zona de desplante en cuanto al potencial de expansivo, se puede observar, inicialmente que los suelos predominantes corresponden a arena limosa (SM). Por las anteriores consideraciones se observa que para las zonas donde estarán ubicadas las obras de drenaje transversal, el suelo tendrá con un grado de expansión predominante como bajo.
Si bien el suelo de apoyo corresponde a una arena limosa (SM) con bajo potencial expansivo y capacidad portante admisible suficiente para la estructura, estas condiciones no eliminan la conveniencia técnica de implementar un mejoramiento de subrasante.

Las arenas limosas (SM) son particularmente sensibles a variaciones de humedad y a procesos de erosión interna, especialmente en estructuras hidráulicas donde existen flujos permanentes y posibles

filtraciones. Adicionalmente, al tratarse de una estructura rígida, el control de asentamientos diferenciales resulta determinante para garantizar el adecuado comportamiento estructural y la durabilidad del box culvert.

En este sentido, el mejoramiento de la subrasante se justifica como una medida preventiva orientada a mejorar la uniformidad del apoyo, reducir la susceptibilidad a pérdida de rigidez, mitigar procesos de socavación local y garantizar un comportamiento estructural adecuado en condiciones de servicio.

Aunque el suelo SM evaluado presenta baja expansión y una posible capacidad portante adecuada, el mejoramiento de subrasante se justifica por criterios de servicio y durabilidad, asociados al control de asentamientos diferenciales, sensibilidad a humedad y mitigación de procesos de erosión interna propios de estructuras hidráulicas.

5.4.5. Calculo y evaluación de la capacidad admisible del suelo de fundación.

Los factores que influyen en la determinación de la capacidad portante del suelo son parámetros geotécnicos como la cohesión, el ángulo de fricción interna y el peso específico del suelo, la profundidad de la cimentación y las diversas geometrías que adopta la cimentación, que son de los que depende mucho la estabilidad y la toma de decisiones.

Tomaremos como diseño representativo correspondientes a la estructura tipo alcantarilla tipo cajón con las siguientes medidas:
B (Ancho de la cimentación) = 1.50 m
L (Largo de la cimentación) = 10.00 m
D (Profundidad de desplante) = 0.25m

Para el presente cálculo de la capacidad admisible del suelo se tomará el suelo con la condición más desfavorable que será arena limosa (SM). La anterior información se toma de los valores geotécnicos registrados en el capítulo 3- Estudio suelos.
Cohesion (C) = 0 ton/m^2 = 0 KN/m^2
Angulo de fricción interna (θ) = 22°
Peso especifico del suelo = 18 KN/m^3
Nota : 1KN = 0.1019716 ton

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

CAPACIDAD PORTANTE PARA ARENA LIMOSA (SM)

CÁLCULO DE CAPACIDAD PORTANTE

B =	3.70	[m]	ϕ =	22.00	[°]	ca =	0.00	
L =	10.00	[m]	δ =	0.00	[°]	γ =	18.00	[kN/m^3]
D =	0.25	[m]	β =	0.00	[°]	q_v =	0.00	[kN/m^2]
ecc.B =	0.00	[m]	η =	0.00	[°]	q_o =	0.00	[kN/m^2]
ecc.L =	0.00	[m]	c =	0.00	[kN/m^2]	FS =	3.00	

Meyerhof:		Vesic:		Hansen:		Terzaghi:	
Nq =	7.821120072	Nq =	7.82112007	Nq =	7.821120072	Nq =	9.19
Nc =	16.88286462	Nc =	16.8828646	Nc =	16.88286462	Nc =	20.272
Ng =	4.066203644	Ng =	7.1279277	Ng =	4.133867098	Ng =	8.234

Factor de forma		*Factor de forma*		*Factor de forma*		*Factor de forma*	
sc =	1.16265104	sc =	1.17140542	sc =	1.171405416	sc =	1
sq = sg =	1.08132552	sq =	1.1494897	sq =	1.149489704	sg =	1
		sg =	0.852	sg =	0.852		

Factores de profundidad		*Factores de profundidad*		*Factores de profundidad*	
dc =	1.020034608	dc =	1.02702703	dc =	1.027027027
dq = dg =	1.010017304	dq =	1.04693638	dq =	1.046936376
		dg =	1	dg =	1

Factor de inclinación		*Factor de inclinación*		*Factor de inclinación*	
ic = iq =	1	ic =	1	ic =	1
ig =	1	iq =	1	iq =	1
		ig =	1	ig =	1

Kp =	**2.197987025**	*F. inclin. Cimentación*		*F. inclin. Cimentación*	
		bc =	1	bc =	1
		bq = bg =	1	bq =	1
				bg =	1

F. inclin. Terreno		*F. inclin. Terreno*	
gc =	1	gc =	1
gq =gg =	1	gq =gg =	1

Capacidad Portante: Meyerhoff		*Capacidad Portante: Vesic*		*Capacidad Portante: Hansen*		*Capacidad Portante: Terzaghi*		
q_{ult} =	19.00	q_{ult} =	5.46	q_{ult} =	5.22	q_{ult} =	32.18	[Ton/m^2]
q =	702.97	q =	202.19	q =	192.97	q =	1190.52	[Ton]
Q_{amd} =	6.33	Q_{amd} =	1.82	Q_{amd} =	1.74	Q_{amd} =	10.73	[Ton/m^2]

LEYENDA

B =	Ancho de la cimentación
L =	Longitud de la cimentación
D =	Profundidad de la cimentación
ecc.B =	Excentricidad en B
ecc.L =	Excentricidad en L
ϕ =	Angulo de fricción
δ =	A. inclinacion del terreno de fundación.
β =	A. inclinación de la carga
η =	Inclinación de la cimentación
c =	Cohesión
ca =	Adhesión a la base de la fundación
γ =	Peso especifico del suelo
q_v =	Comp. Vertical de la carga
qh =	Comp. Horizontal de la carga
Kp =	Coeficiente de empuje pasivo
Af =	Area efectiva de la cimentación
FS =	Factor de seguridad
q =	Capacidad portante

Tenemos capacidad portante por Terzhaghi:
Para arena limosa (SM) se obtiene Q_{adm} =10.73 ton/m² = 1.07kg/cm²

Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo.

Por tanto, la capacidad portante admisible debe estar basada en uno de los siguientes criterios funcionales: Si la función del terreno de cimentación es soportar una determinada tensión independientemente de la deformación, la capacidad portante se denominará carga de hundimiento. Si

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

lo que se busca es un equilibrio entre la tensión aplicada al terreno y la deformación sufrida por éste, deberá calcularse la capacidad portante a partir de criterios de asiento admisible.

Por las condiciones encontradas en la exploración y muestreo en campo se aplicará para cimentaciones superficiales, la profundidad mínima de desplante recomendada en el cuadro No 9 con respecto al nivel actual del terreno.

Los valores de tensión admisible que se suelen encontrar en los suelos oscilan entre los 0,5 y 3 Kg/cm^2. Una tensión admisible baja indica un suelo problemático para la estabilidad de los cimientos, y por el contrario un valor cercano a los 3, o superior, indica un muy buen terreno para construir.

A continuación, se muestra unos valores de categorización de la subrasante en base a la capacidad portante se puede clasificar de la siguiente manera:

Subrasante de Alta Capacidad Portante
Capacidad portante: > 150 kPa (1.53 kg/cm^2)(15.06 t/m^2)
Ejemplos: Arenas densas, gravas bien compactadas.
Características: Suelos estables que requieren poco tratamiento adicional.
Subrasante de Capacidad Media
Capacidad portante: 100-150 kPa (1.02 – 1.53 kg/cm^2) (10.04 – 15.06 t/m^2)
Ejemplos: Arcillas firmes, limos compactos.
Características: Suelos que pueden requerir algún tratamiento de mejora para aplicaciones estructurales.
Subrasante de Baja Capacidad Portante
Capacidad portante: 50-100 kPa (0.51 – 1.02 kg/cm^2) (5.02 – 10.04 t/m^2)
Ejemplos: Arcillas blandas, suelos limosos poco compactados.
Características: Necesita un tratamiento considerable para soportar cargas significativas.
Subrasante de Muy Baja Capacidad Portante
Capacidad portante: < 50 kPa (0.51kg/cm^2) (5.02 t/m^2)
Ejemplos: Suelos orgánicos, arcillas muy blandas.
Características: Requiere soluciones de cimentación especializadas, como pilotes o suelos tratados.

El valor de q_{adm} =10.73 Ton/m^2 clasifica a la subrasante de media capacidad portante.
Se evaluará la condición de capacidad portante estipulada en la "Obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural", emitido por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS año 2.020. La cartilla antes citada considera para el componente geotécnico que el suelo de fundación tenga como parámetro la capacidad de carga admisible del suelo de fundación igual a $q_{adm\ cartilla}$ 130 kN/m^2 (13 Ton/m^2).

El presente diseño arroja un valor de capacidad portante admisible (q_{adm}) de 10.73 Ton/m^2 y vemos que es menor que la estipulada por la cartilla : $q_{adm} < q_{adm\ cartilla}$, por lo cual no se estaría cumpliendo. La capacidad de carga admisible de un terreno se refiere a la carga máxima que el suelo puede soportar bajo un asentamiento controlado y aceptable, si la tensión admisible se excede, el suelo puede colapsar y comprometer la estabilidad de la estructura. Por lo tanto, la capacidad admisible que le está dando en el box culvert se encuentra por debajo de lo indicado en la cartilla Colombia rural. Por lo anterior y con el fin de mejorar la capacidad portante del suelo se propone mejorarlo.

El diseño estructural del box culvert se desarrolló considerando que la losa inferior trabaja como una placa rígida apoyada sobre un medio deformable de capacidad portante media, garantizando que las presiones transmitidas al suelo de fundación sean compatibles con su capacidad resistente y su

comportamiento deformacional, y asegurando la estabilidad y durabilidad de la estructura bajo condiciones normales y desfavorables de operación.

5.4.6. Determinación y evaluación de la profundidad de socavación.

En cuanto a los efectos de la socavación vemos que de acuerdo con el estudio hidráulico e hidrológico arrojo una profundidad de socavación general de 0.36m.

Se observa que la profundidad de socavación general estimada (0.36 m) es mayor que la profundidad de desplante de la cimentación (0.25 m), lo cual implica que el plano de apoyo de la losa inferior podría verse afectado por procesos de socavación. Dado que el suelo de fundación corresponde a una arena limosa (SM), material con baja cohesión y susceptible a erosión interna y lavado de finos, esta condición incrementa el riesgo de pérdida de apoyo y asentamientos diferenciales. En consecuencia, aunque la capacidad portante admisible del suelo sea suficiente, la condición de socavación controla el diseño, haciendo técnicamente conveniente la implementación de un mejoramiento de la subrasante que garantice estabilidad, uniformidad de apoyo y durabilidad de la estructura.

5.4.7. Determinación y evaluación de asentamientos.

5.4.7.1. Determinación del tipo de asentamiento.

Dadas las siguientes condiciones de diseño:

- Cimentación superficial tipo losa de fondo.
- Suelo predominante en el desplante: Arena limosa (SM)
- Sin nivel freático.
- Espesor de losa = 0.25 m
- Estructura rígida (box culvert)

Para este caso NO domina el asentamiento por consolidación primaria, sino el asentamiento inmediato (o elástico).

Como justificación técnica de escogencia de asentamiento inmediato (o elástico) tenemos que:

- El suelo de apoyo es granular (SM)
- No hay nivel freático
- El espesor de arcillas (CL) está a mayor profundidad
- El tiempo de drenaje es prácticamente inmediato

Según la literatura geotécnica disponible (Terzaghi & Peck, Bowles entre otros), en suelos granulares, el asentamiento dominante es el asentamiento inmediato.

Vemos que no gobierna la consolidación primaria ya que propia de arcillas saturadas. Por lo anterior no aplica calculo y evaluación de asentamiento.

Vemos que gobierna el **asentamiento inmediato (elástico)**. Por lo tanto, el asentamiento total estimado (S_t) se asimila al asentamiento inmediato o elástico del suelo granular. Dado que el suelo predominante en el nivel de desplante corresponde a una arena limosa (SM), material granular con alta permeabilidad y sin plasticidad, y considerando que durante la exploración no se detectó presencia de nivel freático, el mecanismo de deformación dominante bajo las cargas transmitidas por la estructura corresponde al asentamiento inmediato o elástico. En este tipo de suelos no se desarrollan procesos significativos de consolidación primaria, ya que las deformaciones ocurren de manera prácticamente instantánea por distorsión del esqueleto granular. Adicionalmente, al tratarse de una cimentación superficial tipo losa

de fondo sometida a cargas moderadas y de aplicación rápida, no se esperan deformaciones dependientes del tiempo, por lo cual el análisis de asentamientos se gobierna por el comportamiento elástico del suelo. El asentamiento se considera de tipo elástico debido a que el suelo de fundación es granular (SM), sin nivel freático, con drenaje rápido y sin condiciones que generen consolidación primaria o deformaciones dependientes del tiempo. El análisis se hace con teoría elástica, no con teoría de consolidación de Terzaghi.

A manera informativa se presenta el siguiente cuadro que determina:

Tipo de asentamiento	Aplica (Si/No)	Justificación
Inmediato (elástico)	Sí	Suelo SM en el desplante
Consolidación primaria	No	Arcillas no están en el nivel de carga
Consolidación secundaria	No	Requiere arcillas orgánicas o blandas
Asentamiento por colapso	No	Humedad baja, suelo no metastable

Cuadro 11: Tipos de asentamientos y cuando aplican
Fuente : Propia

5.4.7.2. Determinación del estrato compresible (H).

Estrato compresible es el conjunto de capas de suelo que experimentan incrementos significativos de deformación vertical como resultado del incremento de esfuerzos inducido por la estructura. No depende solo del tipo de suelo y depende de hasta dónde llega el bulbo de esfuerzos.

El espesor H se define hasta la profundidad donde $\Delta\sigma_z \leq 0.10\sigma_0'$, es decir La carga inducida por la estructura es menor al 10% del esfuerzo efectivo inicial. Un estrato del suelo deja de ser compresible (o influyente en asentamientos) cuando el incremento de esfuerzo vertical inducido por la estructura es menor o igual al 10 % del esfuerzo efectivo inicial del suelo.

Símbolo	Nombre técnico	Qué representa
$\Delta\sigma z$	Incremento de esfuerzo vertical	Carga adicional inducida por el box culvert + tránsito a profundidad *z*
σ_0'	Esfuerzo vertical efectivo inicial	Peso propio del suelo antes de construir
0.10	Umbral de influencia	Criterio empírico ampliamente aceptado

Cuadro 13: definición y función de variables
Fuente : Bowles / Das

$\Delta\sigma_z$ es el incremento de esfuerzo vertical inducido por una carga externa, evaluado a una profundidad Z bajo el centro o punto de interés de la cimentación.
$\Delta\sigma_z$ corresponde al incremento de esfuerzo vertical inducido en el suelo por la carga del box culvert y el tránsito, evaluado a una profundidad determinada, y es el parámetro responsable del asentamiento del terreno.

$\Delta\sigma z > 10\ \%\ \sigma_0'$ determina que el estrato sí contribuye al asentamiento.

$\Delta\sigma z \leq 10\ \%\ \sigma_0'$ determina que el estrato no es relevante.

En forma general: $\Delta\sigma_z = q \cdot Iz$
donde:
q = presión aplicada en superficie (kN/m²)

Iz = factor de influencia (depende de z/B y del método usado). Donde Iz se obtiene de tablas para losa cuadrada (Bowles / Das).

z/B	Iz
0.5	0.48
1.0	0.30
1.5	0.18
2.0	0.10
2.5	0.07
3.0	0.05

Cuadro 13: Factores de influencia
Fuente : Bowles / Das

5.4.7.2.1. Calculo de la presión total transmitida al suelo (q).

q = Peso propio box culvert + Peso transito + Peso relleno encima box culvert.

Peso propio del box culvert.(para 1 m lineal de la estructura.)

- Sección hidráulica del box culvert será de (1,0 x 1,0) m
- Numero de celdas: 1
- Método de diseño: Norma Colombiana de Diseño de Puentes - LRFD - CCP 14
- Camión de diseño: C-40-95
- La sección estructural será:

✓ Muros: En concreto hidráulico y espesor de 0,25 m
✓ Losa superior: En concreto hidráulico y espesor 0,30m
✓ Losa inferior: En concreto hidráulico y espesor 0,25 m

- Materiales:

✓ Concreto hidráulico tendrá un Fc= 21 Mpa (3.000 psi) y peso unitario concreto hidráulico reforzado γ_c=24kN/m3
✓ Acero tendrá un Fy = 420 Mpa (60.000 psi)

Losa inferior:
Ancho total = 1.00 + 2 x 0.25 = 1.50 m
Espesor = 0.25 m
Vli= 1.50m x 0.25m x 1.00m = 0.375 m^3
Wli = 0.375m^3 x 24kN/m^3 = 9.0 kN

Losa superior:
Ancho total = 1.00 + 2 x 0.25 = 1.50 m
Espesor = 0.30 m
Vls= 1.50m x 0.30m x 1.00m = 0.45 m^3
Wls = 0.45m^3 x 24kN/m^3 = 10.80 kN

Muros:
Altura = 1.00 m
Espesor = 0.25 m
Vmuro= 2 x (1.00 x 0.25 x 1.00) = 0.50 m^3
Wli = 0.50m^3 x 24kN/m^3 = 12.00 kN

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

Peso propio total:
Wpp = 9.00+10.80+12.00
Wpp = 31.80 kN/m

Presión por peso propio sobre el suelo:
Área de apoyo (losa inferior)
A= 1.50m x 1.00m = 1.50m²
q_{pp} = 31.8kN/1.50m² = 21.20kN/m²

Carga por relleno

El diseño no contempla el uso de relleno granular encima del box coulvert. El diseño asume que la losa superior del box culvert será usada como capa de rodadura vehicular.

Carga por tránsito.

En CCP-14 / AASHTO LRFD, la carga viva uniforme por carril tenemos w = 9.30kN/m. Este valor no es por metro cuadrado y es por metro lineal de carril.

Se procede a la conversión correcta a carga por área en el cual, para un análisis geotécnico, esa carga lineal debe transformarse en presión sobre la losa.

Según el CCP-14, el ancho normativo de carril será b= 3.00m

q_{ll} = w/b
q_{ll} = 9.30/3
q_{ll}= 3.1kN/m²

La carga por tránsito se evaluó conforme a la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14, considerando el vehículo de diseño C-40-95. Para el análisis geotécnico se adoptó la carga viva uniforme equivalente por carril (lane load), definida normativamente como 9.3 kN/m, la cual fue convertida a presión superficial dividiendo entre el ancho normativo de carril de 3.0 m, obteniéndose una carga distribuida equivalente de 3.1 kN/m² aplicada directamente sobre la losa superior, dado que esta funciona como superficie de rodadura sin relleno.

Se permite usar esta carga distribuida cuando:
- Se evalúan presiones globales
- Se analiza asentamiento
- Se analiza capacidad portante
- El box culvert no tiene relleno

No se usa para:
- Diseño a flexión detallado de la losa
- Verificación de punzonamiento
- Diseño de refuerzo

Presión total real del suelo

q_{total} = 21.20kN/m² + 3.1kN/m²
q_{total} = 24.30kN/m² = 2.48 t/m²

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

5.4.7.2.2. Valores de diseño para geometría box culvert y suelo.

- Tipo de cimentación: losa inferior
- Dimensiones efectivas: 1.0 m × 1.0 m
- Ancho efectivo:
- ✓ B=1.0 m
- Peso unitario del suelo:
- ✓ γ=18 kN/m³
- Nivel freático: no presente

5.4.7.2.3. Cálculo del incremento de esfuerzo vertical Δσz

$\Delta\sigma_z \leq 0.10\sigma_0'$,

Profundidad z (m)	z/B	$\sigma_0' = \gamma \cdot z$ (kN/m²)	Iz	$\Delta\sigma z = q \cdot Iz$ (kN/m²)	$0.10 \cdot \sigma_0'$ (kN/m²)	Cumple	Análisis y lectura técnica
0.50	0.5	9.0	0.48	24.3×0.48 = **11.7**	0.9	No	$\Delta\sigma z \gg 0.10 \cdot \sigma_0$, suelo altamente influenciado. Un estrato se considera altamente influenciado cuando el incremento de esfuerzo vertical inducido por la estructura es significativamente mayor que el 10 % del esfuerzo vertical efectivo inicial del suelo, lo cual indica que dicho estrato es el principal responsable del asentamiento de la cimentación.
1.00	1.0	18.0	0.30	**7.3**	1.8	No	$\Delta\sigma z$ todavía domina, asentamiento significativo
1.50	1.5	27.0	0.18	**4.4**	2.7	No	$\Delta\sigma z > 10\ \% \ \sigma_0$, sigue siendo estrato compresible
2.00	2.0	36.0	0.10	**2.4**	3.6	Sí	$\Delta\sigma z \approx 0.10 \cdot \sigma_0$, límite del estrato compresible
2.50	2.5	45.0	0.07	**1.7**	4.5	Sí	$\Delta\sigma z < 10\ \% \ \sigma_0$, ya no influye
3.00	3.0	54.0	0.05	**1.2**	5.4	Sí	Influencia despreciable, no se considera

Cuadro 14: Cálculo del incremento de esfuerzo vertical Δσz
Fuente : Propia

Un suelo altamente influenciado es aquel en el que la carga del box culvert domina completamente el estado de esfuerzos del suelo, superando ampliamente el esfuerzo que el suelo ya tenía por su propio peso. En otras palabras:

- El suelo no estaba preparado para ese incremento de carga
- La estructura modifica fuertemente el estado tensional natural
- El suelo sí se deforma de manera apreciable

Se considera suelo altamente influenciado aquel estrato en el cual el incremento de esfuerzo vertical inducido por la estructura (Δσz) es varias veces mayor que el 10 % del esfuerzo vertical efectivo inicial del suelo (σ_0'), lo que indica que dicho estrato participa de forma dominante en el asentamiento total.

La situación de un suelo altamente influenciado ocurre cerca de la superficie porque:

σ_0' es pequeño (poco peso de suelo encima)
$\Delta\sigma z$ es grande (la carga aún no se ha disipado)
Las anteriores consideraciones dan como resultado que $\Delta\sigma_z \gg \sigma_0'$

En el presente diseño implica que, si el suelo está altamente influenciado, entonces:

- Aporta la mayor parte del asentamiento
- Debe incluirse obligatoriamente en el cálculo
- Controla el asentamiento diferencial
- Puede justificar mejoramiento de subrasante
- Es el estrato crítico para fisuración y servicio

A continuación, se muestra el cuadro de influencia de cargas para análisis de asentamientos:

Condición	Relación $\Delta\sigma z$ / σ_0'	Interpretación
Altamente influenciado	$\gg 0.10$	Estrato crítico
Influenciado	> 0.10	Aporta asentamiento
Poco influenciado	≈ 0.10	Límite
No influenciado	< 0.10	No relevante

Cuadro 15: influencia de cargas para análisis de asentamientos
Fuente : Propia

El anterior cuadro presenta la evaluación de la influencia de cargas inducidas por el box culvert en el suelo de fundación, mediante la comparación entre el incremento de esfuerzo vertical ($\Delta\sigma z$) y el esfuerzo vertical efectivo inicial del suelo (σ_0'). Este cuadro se utiliza para delimitar el espesor del estrato compresible y definir las capas de suelo que participan de manera significativa en el asentamiento de la cimentación. Este cuadro sirve para demostrar hasta dónde el suelo "siente" la carga del box culvert y, por tanto, hasta dónde se generan asentamientos.

Analizando para la estructura tipo box culvert tenemos que en los primeros 0.5 – 1.0 m bajo la losa inferior:
σ_0' es bajo
$\Delta\sigma z$ es alto
Lo que registra es que el suelo es altamente influenciado y que gobierna el asentamiento inmediato.

Para capas altamente influenciadas se muestran a continuación el criterio usado:

- Altamente influenciado: $\Delta\sigma z \gg 0.10 \cdot \sigma_0'$
- Influencia media: $\Delta\sigma z > 0.10 \cdot \sigma_0'$
- No influenciado: $\Delta\sigma z \leq 0.10 \cdot \sigma_0'$

Profundidad (m)	Tipo de suelo	σ_0' (kN/m²)	$\Delta\sigma z$ (kN/m²)	$\Delta\sigma z$ / σ_0'	Clasificación
0.00 – 0.50	SM (arena limosa)	Bajo	Alto	$\gg 0.10$	Altamente influenciado
0.50 – 1.50	SC (arena arcillosa)	Medio	Medio–Alto	> 0.10	Influencia media
1.50 – 2.00	CL (arcilla baja compresión)	Mayor	Bajo	≈ 0.10	Límite del estrato compresible
> 2.00	—	Alto	Muy bajo	≤ 0.10	No influenciado

Cuadro 16: Evaluación de influencia de cargas y estrato compresible
Fuente : Propia

El estrato compresible se extiende hasta 2.0 m, compuesto por suelos granulares (SM–SC).

Las arcillas CL (> 3.0 m) no gobiernan el asentamiento.

El espesor del estrato compresible se definió hasta la profundidad en la cual el incremento de esfuerzo vertical inducido por la estructura (Δσz) es menor o igual al 10 % del esfuerzo vertical efectivo inicial del suelo (σ_o'), criterio ampliamente aceptado en mecánica de suelos para delimitar la zona de influencia de cargas superficiales.

Por las anteriores consideraciones tenemos un H= 2.00m

5.4.7.3. Cálculo de asentamiento inmediato.

$$S_i = \frac{q \cdot B}{E_s} \cdot I_s \cdot (1 - \nu^2)$$

Donde:
q (kN/m²)= presión neta transmitida (ya la calculada)
B (m)= ancho de la losa. Es la dimensión característica de la cimentación en planta. En losas rectangulares se toma el ancho menor o el ancho equivalente.
Es(kN/m²)= módulo de deformación del suelo
v= coeficiente de Poisson
Is= factor de forma
S_i (m)= Asentamiento inmediato

Procedemos al cálculo de la presión neta transmitida.
Tenemos que q= 24.30kN/m²

Procedemos a determinar el valor del ancho de losa (B). Tenemos un B=1.00m

Procedemos a determinar el módulo de deformación del suelo (Es). Cuando el valor no es obtenido por ensayos de laboratorio como por ejemplo el odómetro, se procede a obtener el valor en base al siguiente cuadro:

Tipo de suelo (SUCS)	Rango típico de (Es) (MPa)
Arena limpia (SP, SW)	30 – 80
Arena limosa (SM)	20 – 60
Arena arcillosa (SC)	10 – 30
Arcilla baja plasticidad (CL)	5 – 15
Arcilla alta plasticidad (CH)	2 – 8

Cuadro 17: Rangos típicos de valores Es
Fuente : Bowles (1997), Das (2011), NAVFAC DM-7

Tipo de suelo a evaluar : Arena Limosa (SM)
Profundidad cimiento : 0.25m
Tomaremos un valor de Es = 30 Mpa= 30.000 kN/m²

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

Procedemos a determinar el coeficiente de Poisson.

Tipo de suelo	ν (Coeficiente de Poisson)
Arena seca (bien graduada)	0.20 – 0.25
Arena húmeda / saturada	0.25 – 0.30
Arena limosa (SM)	0.25 – 0.35
Arena arcillosa (SC)	0.30 – 0.35
Grava (GW, GP)	0.20 – 0.30
Limo (ML)	0.30 – 0.40
Arcilla baja plasticidad (CL)	0.35 – 0.45
Arcilla media plasticidad	0.35 – 0.45
Arcilla alta plasticidad (CH)	0.40 – 0.49
Suelos orgánicos	0.40 – 0.49

Cuadro 18: Rangos típicos de valores para coeficiente de Poisson
Fuente : Bowles (1997), Das (2011)

Tipo de suelo a evaluar: Arena Limosa (SM)
Profundidad cimiento: 0.25m
Tomaremos un valor de $\nu = 0.30$

Procedemos a calcular el factor de forma.
El factor de forma (Is) es un coeficiente geométrico adimensional que corrige el asentamiento elástico para tener en cuenta la forma y proporciones de la cimentación (relación largo–ancho). No se "mide": se calcula a partir de la geometría de la zapata, losa o caja (box culvert).
Depende de la geometría de la cimentación.
El factor de forma depende de la relación geométrica: L/B; donde:

- L(m) = largo de la cimentación
- B (m) = ancho de la cimentación

Datos del box culvert:

- Ancho (B) = 1.00 m
- Altura = 1.00 m (dato hidráulico, no entra en Is)
- Largo (L) = 10.00 m
- Para el factor de forma solo importa la planta (L y B).

Calculamos relación geométrica L/B = 10.0/1.0 = 10

L/B	Tipo de cimentación	Is
1	Cuadrada	1.12
2	Rectangular	1.02
3	Alargada	0.98
≥ 5	Cimentación corrida	0.95
→ ∞	Franja infinita	0.90

Cuadro 19: Valores de factor forma
Fuente : Bowles (1997), Das (2011)

Tenemos que L/B = 10 ≥ 5 por lo cual clasifica como cimentación corrida y un Is = 0.95

A continuación, se darán las respectivas explicaciones tecnicas acerca del resultado obtenido:

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

- El box es muy largo respecto a su ancho
- La deformación del suelo ocurre casi en condición plana (2D)
- El efecto tridimensional es bajo
- Por eso Is < 1.0

Calculamos el valor de Si
Si =[(24.30 x 1.00)/30.000] x 0.95 x (1-0.30^2)
Si = 7.00245 x 10^{-4} m = 0.70mm
Tenemos un Si= 0.70 mm

El valor obtenido de Si corresponde a un asentamiento inmediato (elástico) que ocurre inmediatamente al aplicar la carga, predomina en suelos granulares (SM, SC), es el único asentamiento relevante en suelos sin consolidación apreciable y aplica perfectamente a una estructura rígida tipo box culvert.

Tipo de estructura	Asentamiento admisible
Zapatas aisladas	25 mm
Zapatas corridas	20 – 25 mm
Losas de cimentación	25 – 50 mm
Box culvert / Obras de drenaje	**≤ 20 mm**
Estructuras rígidas hidráulicas	**≤ 15–20 mm**

Cuadro 20: Valores de asentamientos admisibles
Fuente : Bowles (1997), Das (2011)

Tenemos un valor de control recomendado para box culvert de S_{adm}=20 mm
Tenemos un valor de Si = 0.70 mm

Calculamos la relación = Si/S_{adm} = 0.70/20 = 0.035, el cual indica que solo el 3.5% del asentamiento admisible.

A continuación, se dará una interpretación técnica al resultado obtenido de asentamiento:

- El asentamiento calculado es muy inferior al admisible. El asentamiento inmediato es menor a 1 mm
- No se generan deformaciones perjudiciales
- No se compromete la funcionalidad hidráulica
- No se inducen fisuras por deformación del apoyo
- Es muy bajo para un box culvert urbano
- No es estructuralmente significativo
- Compatible con comportamiento elástico del suelo
- No justifica medidas de mejoramiento por asentamiento inmediato

En estructuras hidráulicas tipo box culvert, el criterio de asentamiento controla sobre el de capacidad portante, dado que deformaciones excesivas pueden afectar la continuidad hidráulica aun cuando no exista falla del suelo.

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Concepto	Símbolo	Valor	Unidad	Criterio / Referencia	Cumple
Asentamiento inmediato calculado	S	0.70	mm	Cálculo elástico (teoría de elasticidad)	—
Asentamiento admisible	Sadm	20.0	mm	Bowles (1997), Das (2011), NAVFAC – Estructuras rígidas	—
Relación de utilización	S / Sadm	0.035	—	≤ 1.00	Sí
Porcentaje del admisible utilizado	—	3.5 %	%	Margen amplio de seguridad.	Sí
Condición de servicio	—	—	—	No afecta funcionalidad ni estabilidad.	Sí

Cuadro 21: Comparación entre asentamiento calculado y asentamiento admisible
Fuente : Bowles (1997), Das (2011)

El asentamiento real representa solo el 3.5 % del máximo permitido.
Existe un margen de seguridad muy alto.
No se esperan:

- pérdida de apoyo,
- fisuración inducida por asentamientos,
- alteraciones hidráulicas del cauce

El criterio de servicio se cumple holgadamente.

La comparación entre el asentamiento inmediato calculado (0.70 mm) y el asentamiento admisible recomendado para estructuras rígidas de drenaje (20 mm) evidencia que el comportamiento deformacional del suelo de fundación es satisfactorio. El valor calculado representa únicamente el 3.5 % del límite admisible, por lo cual se concluye que el box culvert cumple el criterio de servicio por asentamientos.

A continuación, se muestran los resultados de las diferentes variables de diseño con el fin de evaluar la conveniencia técnica de un mejoramiento al suelo.

Criterio evaluado	Resultado obtenido	Valor de referencia	Evaluación	Decisión
Tipo de suelo	Arena limosa (SM)	Suelo granular	Apto	No condiciona
Nivel freático	No detectado	Sin NF	Favorable	No condiciona
Potencial expansivo	Bajo	Bajo–nulo	Aceptable	No condiciona
Asentamiento inmediato	0.70 mm	Sadm = 20 mm	Cumple	No requiere mejoramiento
Relación Si / Sadm	3.5 %	≤ 100 %	Muy favorable	—
Capacidad portante admisible	10.73 ton/m²	≥ 13.0 ton/m²	No cumple	Requiere mejoramiento
Profundidad de socavación	0.36 m	< desplante	No cumple	Requiere protección/mejoramiento
Estabilidad global	Condicionada por socavación	Estable	Condicionada	Requiere intervención puntual

Cuadro 22: Evaluación variables de diseño para justificar mejoramiento al suelo.
Fuente : Bowles (1997), Das (2011)

De acuerdo con lo evaluado en el anterior cuadro, el mejoramiento de la subrasante se justifica por capacidad portante normativa y socavación, mas no por asentamientos.

La concurrencia de estas condiciones indica que el apoyo directo de la losa inferior sobre el suelo natural no garantiza un comportamiento geotécnico adecuado bajo condiciones de servicio y eventos hidráulicos extremos. Con base en el tipo de suelo de fundación (arena limosa), la reducida profundidad de desplante de la cimentación (0.25 m), la capacidad portante admisible obtenida (10.73 ton/m²) y la profundidad de socavación general estimada (0.36 m), se concluye que es técnicamente conveniente y necesario implementar un sistema de mejoramiento de la subrasante. Dicho mejoramiento permitirá incrementar la capacidad portante efectiva del terreno, garantizar un apoyo continuo y uniforme de la losa inferior del box culvert, mitigar el riesgo de pérdida de soporte por socavación y mejorar el desempeño estructural y la durabilidad de la obra. En consecuencia, el apoyo directo del box culvert sobre el suelo natural no garantiza un comportamiento geotécnico ni estructural adecuado. Por lo anterior, se considera técnicamente necesario implementar un sistema de mejoramiento de subrasante, orientado a incrementar la capacidad portante efectiva del terreno, aumentar la profundidad efectiva de cimentación y mitigar el riesgo de pérdida de soporte por socavación.

A continuación, se recomendarán dos (2) alternativas de mejoramiento en subrasante:

Alternativa No 1 de mejoramiento subrasante.

- Capa tipo solado con un Fc= 14 Mpa y espesor de 0.05m. La función básica es generar una zona de renivelación y apoyo a la cimentación superficial de la estructura de drenaje transversal.
- Capa en concreto ciclópeo con una proporción de concreto simple de Fc= 210 Mpa (60%) y piedra (40%)" con un espesor de 0.30m. Esta capa cumplirá las funciones del solado en cuanto a crear zona de renivelación y apoyo a la cimentación superficial.
- Capa en piedra con un tamaño máximo (TM) entre 10"-12" con un espesor de 0.40m

Alternativa No 2 de mejoramiento subrasante.

- Capa en concreto ciclópeo con una proporción de concreto simple de Fc= 210 Mpa (60%) y piedra (40%)" con un espesor de 0.20m. Esta capa cumplirá las funciones del solado en cuanto a crear zona de renivelación y apoyo a la cimentación superficial.
- Capa en material granular tipo granzón con un tamaño máximo (TM) de 3" con un espesor de 0,10m. La función de esta capa será para sellar (llenar) los vacíos en la parte superior de la capa donde se apoyará.
- Capa en piedra con un tamaño máximo (TM) entre 10"-12" con un espesor de 0.40m.

Luis Fernando Olivares Peña
Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería de Pavimentos

Alternativas	Evaluación funcional	Evaluación durabilidad	Evaluación capacidad estructural	Evaluación seguridad geotécnica	Evaluación economía
No 1	Correcta como plataforma rígida. El solado cumple su función básica de nivelación.	La capa superior de ciclópeo queda expuesta directamente a vacíos de la piedra y posible lavado de finos. La ausencia de una capa de transición genera concentraciones de esfuerzo.	Muy alta rigidez global. Pero el contacto ciclópeo–piedra grande no es óptimo sin transición granular. Riesgo de apoyos puntuales bajo la losa.	Funciona, pero depende mucho de la calidad constructiva. Mayor riesgo de heterogeneidad.	Mayor volumen de concreto ciclópeo (0.30 m). Incluye solado + ciclópeo lo que genera doble actividad en concreto. Más costo directo y más tiempo de ejecución.
No 2	El ciclópeo cumple simultáneamente función de solado y función estructural. El granzón sella vacíos, mejora contacto y apoyo.	Sistema en capas bien graduadas: • La piedra grande ayuda al drenaje • El granzón sirve como transición • El concreto ciclópeo brinda una plataforma rígida Reduce riesgo de lavado interno, pérdida de soporte y fisuración de la losa	Apoyo más uniforme bajo la losa. Menor concentración de esfuerzos. Mejor redistribución de cargas. Excelente comportamiento frente a socavación.	Sistema más robusto y tolerante a imperfecciones constructivas. Mejor control de asentamientos diferenciales.	Menor volumen de concreto (0.20 m vs 0.35 m). El granzón es mucho más barato que el concreto. Menor tiempo de ejecución. Menor costo de mantenimiento a largo plazo.

Cuadro 23: Evaluaciones técnicas para alternativas 1 y 2 para ,mejoramiento subrasante.
Fuente : Propia

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2
Funcionalidad	Buena	Muy buena
Durabilidad	Media–Alta	Alta
Capacidad estructural	Alta	Alta y más uniforme
Seguridad geotécnica	Aceptable	Superior
Control de socavación	Bueno	Mejorado
Economía	Más costosa	Más económica
Constructibilidad	Media	Alta

Cuadro 24: Resumen de comparación directa de variables para alternativas 1 y 2 para ,mejoramiento subrasante.
Fuente : Propia

Con el fin de garantizar el adecuado desempeño geotécnico, estructural e hidráulico del box culvert proyectado, se evaluaron dos (2) alternativas de mejoramiento de la subrasante, considerando criterios de funcionalidad, durabilidad, capacidad estructural, seguridad y economía, así como las condiciones del suelo de fundación, la profundidad de socavación estimada y el tipo de estructura a cimentar.

La Alternativa No. 1, compuesta por una capa de solado de concreto simple, una capa de concreto ciclópeo y una capa de piedra de gran tamaño, si bien proporciona una plataforma rígida para el apoyo de la losa inferior, presenta una mayor rigidez localizada y un mayor consumo de concreto, lo cual incrementa los costos de construcción. Adicionalmente, la ausencia de una capa granular de transición entre la piedra y el concreto puede generar apoyos puntuales y concentraciones de esfuerzo, aumentando la sensibilidad de la estructura frente a imperfecciones constructivas y a procesos de lavado interno del material.

Por su parte, la Alternativa No. 2, conformada por una capa de concreto ciclópeo, una capa intermedia de material granular tipo granzón y una capa inferior de piedra de gran tamaño, permite conformar un sistema de mejoramiento estratificado y funcionalmente eficiente. La capa granular intermedia cumple un papel fundamental como capa de transición, sellando los vacíos de la piedra, mejorando el contacto con la capa rígida superior y garantizando una distribución más uniforme de las cargas transmitidas por la losa inferior del box culvert.

Desde el punto de vista geotécnico, la Alternativa No. 2 mejora el comportamiento del sistema de cimentación al incrementar la capacidad portante efectiva del terreno, reducir el riesgo de pérdida de soporte por socavación y controlar asentamientos diferenciales. Desde el punto de vista estructural, proporciona un apoyo más homogéneo a la losa inferior, disminuyendo la probabilidad de fisuración por flexión y aumentando la durabilidad de la estructura. Adicionalmente, esta alternativa reduce el volumen total de concreto requerido, optimizando los costos de construcción y facilitando el proceso constructivo, sin comprometer la seguridad ni la estabilidad de la obra.

En consecuencia, y con base en el análisis técnico integral realizado, se selecciona la Alternativa No. 2 como la solución de mejoramiento de subrasante para el box culvert proyectado, por ofrecer el mejor balance entre desempeño funcional, capacidad estructural, durabilidad, seguridad geotécnica y eficiencia económica, cumpliendo con los criterios establecidos por la normativa vigente y las recomendaciones técnicas del Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

La Alternativa No. 2 presenta un comportamiento geotécnico y estructural más favorable al incorporar una capa granular de transición (granzón), la cual permite sellar los vacíos de la capa de piedra, mejorar el contacto con la capa rígida superior y garantizar una distribución más uniforme de las cargas

transmitidas por la losa inferior del box culvert. Adicionalmente, esta alternativa reduce el volumen de concreto ciclópeo requerido, optimizando los costos de construcción sin comprometer la capacidad portante ni la estabilidad frente a procesos de socavación, lo que la convierte en la opción más eficiente desde el punto de vista funcional, estructural, constructivo y económico.

CONCLUSIONES

La alcantarilla tipo cajón (box culvert) en concreto hidráulico reforzado a diseñar se encuentra ubicada en la calle 20ª entre carreras 13 y 14, municipio de Baranoa, Departamento del Atlántico. El sector donde se encuentra la obra de drenaje transversal es el siguiente:

Tipo	Estructuras de drenaje transversal diseñadas				
	Ubicación	Sección hidráulica			Observación
		Box culvert		Alcantarilla circular	
	Abscisa	Base	Altura	Diámetro	
		m	m	m	
Alcantarilla cajón de una (1) celda	K0 + 55	1.00	1.00		.

En aras de buscar una solución acorde a las necesidades de la estructura tipo alcantarilla tipo cajón (box culvert) que se desea construir, se procedió a realizar el pertinente diseño estructural basándose en las indicaciones técnicas registradas en cartilla Obras menores de drenaje y estructuras viales Programa Colombia Rural", emitido por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS año 2.020.

El estudio se basa sobre el supuesto, de que los materiales a utilizar en la ejecución del proyecto cumplan con las Especificaciones Generales de Construcción del Instituto Nacionalde Vías – INVIAS, que es la entidad que rige normas de control y sobre las cuales está basado estos diseños y las especificaciones anexas.

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

RECOMENDACIONES

En el diseño propuesto, se plantean las siguientes recomendaciones:

En la zona de cimentación de las alcantarillas tipo cajón (box culvert), se propone un mejoramiento de suelo para evitar la ascensión capilar y expansividad de las arcillas en tiempo de lluvia que pueden ocasionar asentamiento diferencial excesivo que pueden hacer colapsar a la estructura ocasionando diferentes tipos de fallas estructurales, afectando además sus condiciones de funcionabilidad y durabilidad. A continuación, se recomendará la siguiente alternativa de mejoramiento en subrasante:

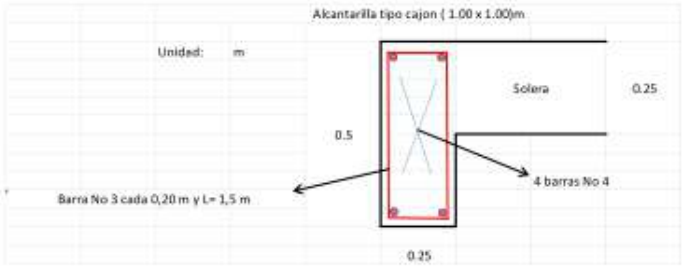
Alternativa No 2 de mejoramiento subrasante.

- Capa en concreto ciclópeo con una proporción de concreto simple de Fc= 210 Mpa (60%) y piedra (40%)" con un espesor de 0.20m. Esta capa cumplirá las funciones del solado en cuanto a crear zona de renivelación y apoyo a la cimentación superficial.
- Capa en material granular tipo granzón con un tamaño máximo (TM) de 3" con un espesor de 0,10m. La función de esta capa será para sellar (llenar) los vacíos en la parte superior de la capa donde se apoyará.
- Capa en piedra con un tamaño máximo (TM) entre 10"-12" con un espesor de 0.40m.

El concreto hidráulico se recomienda que sea premezclado, suministrado por plantas de producción certificadas y en el cual se deben cumplir las especificaciones de diseño.

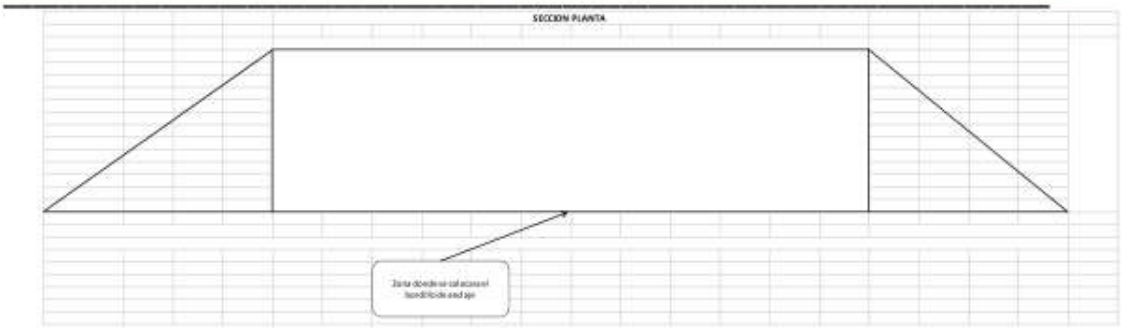
Se recomienda colocar en la zona de encole y descole de soleras y aletas un sistema de anclaje en base a viga tipo dentelleon con el fin de evitar procesos de socavación y erosiónque puedan afectar la estabilidad y funcionalidad del box culvert. A continuación, se darán algunas especificaciones técnicas de diseño:

Estructura que servirá de confinamiento (dentellon) a la solera y aletas.
Se construirán en concreto hidráulico con un Fc de 210kg/cm² y se reforzarán con acero estructural que tendrán un Fy de 4.200 kg/ cm².
La viga tipo dentellón tendrá una sección de (0.25 x 0.50) m.La sección de la viga tipo dentellón será la siguiente:



La zona de colocación de la viga de anclaje tipo dentellon es la siguiente:

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com



Se recomienda que las zonas superiores de las aletas donde se conforma el material granular, este se proteja contra procesos erosivos (sol, agua viento). Como sistema de protección se recomienda una capa conformada por una mezcla de piedra ciclópea y concreto clase F (Fc = 2.000 psi = 140 kg/cm²). La proporción de la mezcla será de 40% en piedra ciclópea y 60% en concreto simple tipo F.

Allanar las imperfecciones superficiales y obturar los poros del concreto, para de esta manera no generar oquedades.

El curado debe realizarse inmediatamente después del texturizado mediante un curador quepuede ser del antisol rojo en base de agua (SIKA) o similar; y posterior a la evaporación deeste, realizar constante humedecimiento de este con agua, para de esta manera garantizar la resistencia del concreto. El curado con agua se recomienda se haga durante siete días, tresveces al día.

Las juntas como se enuncia en el informe, estas deben realizarse tan pronto el equipo de corte pueda apoyarse, no exceder más de 6 horas después del vaciado, para garantizar queno se presenten fisuramientos de contracción.

Es importante que se consideren obras de protección a la alcantarilla tipo cajón (box culvert), como son las construcciones de aletas, soleras, viga tipo dentellon y empedrados protectores con el fin deevitar procesos erosivos en la zona del cauce y taludes contiguos.

Para evitar procesos de socavación en las zonas de encole (antes de la solera) y descole (después de la solera) de la alcantarilla tipo cajón (box culvert), se propone la construcción de un revestimiento del cauce conformando un canal a lo largo de un tramo de cinco (5) metros tanto aguas arriba como aguas abajo. Este revestimiento puede ser una capa en concreto ciclópeo con un espesor de 30 cm o un geocolchon (también aplica un colchón reno). A continuación, se dan las especificaciones de las dos alternativas:

Revestimiento 1: Capa en concreto ciclópeo

Espesor capa = 30 cm

Sera una capa conformada por una mezcla de piedra ciclópea y concreto clase F (Fc = 2.000 psi = 140 kg/cm²). La proporción de la mezcla será de 40% en piedra ciclópea y 60% en concreto simple tipo.

Revestimiento 2 : Geocolchón o colchón tipo reno

Espesor = 30 cm

Nota: Esta estructura deberá ser protegida en su parte inferior por un manto antisocavación.

Las alcantarillas tipo cajón (box culvert) para su proceso constructivo se regirán como mínimo de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes como son las INVIAS 220-2022; INVIAS 600-2022; INVIAS 610-2022; INVIAS 630-2022; INVIAS 640-2022.

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com

Es importante que el ente territorial cuente con programas de mantenimiento rutinario y periódico. Con lo anterior se busca darle mejores expectativas devida útil a las estructuras de drenaje transversal.

Celular : 3015953292
E-mail: olivaresluifer@hotmail.com