

AÑO 2022

**ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS PARA
LA REHABILITACIÓN DE LA VÍA EL DESEO
- LA INMACULADA - CRUCE BUENO,
UBICADA EN EL CANTÓN YAGUACHI DE LA
PROVINCIA DEL GUAYAS**

Informe de Estructuras

Elaborado Por:
Ing. Luis Villavicencio Caverio

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1.	ANTECEDENTES.....	4
1.2.	OBJETIVOS.....	4
2.	CÓDIGOS Y NORMAS.....	4
3.	MATERIALES	5
4.	CARGAS CONSIDERADAS.....	5
4.1.	CARGAS MUERTAS	5
4.2.	CARGAS VIVAS.....	5
4.3.	EMPUJE LATERAL DEL SUELO	8
4.4.	CARGAS HIDRÁULICAS	10
4.5.	COMBINACIONES DE CARGA:	11
5.	DISEÑO ESTRUCTURAL	14
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Características del camión de diseño	6
Figura 2 Características del tándem de diseño	6
Figura 3 Características de carga de carril de diseño	7
Figura 4 Factor de Distribución de Carga Viva (LLDF) para estructuras enterradas (Tabla 3.6.1.2.6a-1, AASHTO).....	8
Figura 5 Factores de carga y combinaciones (Tabla 3.4.1-1, AASHTO)	13
Figura 6 Factor de reducción para carga permanente (Tabla 3.4.1-2, AASHTO).....	13

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificación de materiales	5
Tabla 2. Peso unitario de materiales	5

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Guayas, comprometido con el desarrollo de la Provincia, en su afán de dotar a sus conciudadanos de vías de buena calidad y mejorar sustancialmente la vialidad rural de la provincia, para satisfacer demandas y aspiraciones de los habitantes de los sectores intervenidos, de tal forma que la transportación se haga de manera segura y ágil, solicito los estudios definitivos de la vía: “ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA VÍA EL DESEO – LA INMACULADA - CRUCE BUENO, UBICADA EN EL CANTÓN YAGUACHI DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS”.

1.2. OBJETIVOS

Los objetivos del estudio son la ubicación y diseño estructural de todos los puentes, ductos cajones, tuberías de hormigón armado, cabezales de alcantarillas y demás obras civiles viales que son indispensables para el buen desarrollo del proyecto vial.

Por otro lado, se establecen las características estructurales, geométricas y de resistencia de materiales permitiendo definir un requisito de diseño definitivo de las estructuras, así como su funcionamiento bajo los niveles de seguridad y serviciabilidad para los cuales fue concebido.

El estudio comprende, el análisis y diseños estructurales y consta de los siguientes puntos:

- Cálculo de cargas de la estructura.
- Análisis estructural de los elementos
- Diseño de elementos estructurales.

De acuerdo con el informe Hidrológico-Hidráulico, no es necesario la colocación de alcantarillas convencionales bajo el terraplén de la vía; sin embargo, para facilitar el tránsito de aguas en caso de precipitaciones extremas se ha definido colocar, en los potenciales cruces, 3 ductos tipo cajón, ubicados estratégicamente en las abscisas 0+600, 4+036 y 4+456, aproximadamente.

2. CÓDIGOS Y NORMAS

Los códigos para el análisis y diseño de ductos cajón son:

- I. Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC -15.
- II. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 8th Edition 2017.
- III. ACI Standard 318-19, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
- IV. ASCE 7-16, A Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- V. American Association of State Highway and Transportation Officials. American Welding Society. Bridge Welding Code (AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2020), 2020.
- VI. MOP-001-F-2002 o Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes.
- VII. Normas Ecuatorianas Vial NEVI-12 emitida por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013).

3. MATERIALES

De acuerdo a los Términos de Referencia del proyecto, las especificaciones técnicas consideradas de los materiales son:

MATERIAL	ESPECIFICACIÓN
Acero de refuerzo en barras	Varillas corrugadas de acero ASTM A-615, $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
Hormigón estructural	Hormigón simple de replantillo, $f_c = 180 \text{ kg/cm}^2$ Hormigón estructural en ductos y muros de ala, $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 1. Especificación de materiales

4. CARGAS CONSIDERADAS

La estructura en su totalidad fue diseñada para resistir el total del peso propio de los elementos que componen el sistema muros-losas, el empuje vertical del relleno sobre la losa superior, empuje vertical del agua de servicio sobre la losa inferior, el empuje estático del material de relleno, el empuje hidrostático del agua natural, adicionalmente se consideran las cargas por la sobrecarga vehicular.

4.1. CARGAS MUERTAS

Se consideró como cargas muertas las que actúan permanentemente, tales como el peso propio de la estructura, asfalto, baranda, alumbrado, maquinarias de instalaciones diversas, etc.

MATERIAL	PESO UNITARIO (kg/m ³)
Hormigón armado	2400
Asfalto	2200
Suelo compactado	1800
Acero	7850

Tabla 2. Peso unitario de materiales

4.2. CARGAS VIVAS

De acuerdo al Artículo 3.6 de la AASHTO, se considera una sobrecarga vehicular conformada por un tren de carga denominado HL-93, el cual consiste de una combinación de:

- Camión de diseño o Tándem de diseño.
- Carga de carril de diseño.

Camión de diseño

Los pesos y espaciamientos de ejes y ruedas para el camión de diseño deberán ser como se especifica en la Figura 3.6.1.2.2-1.

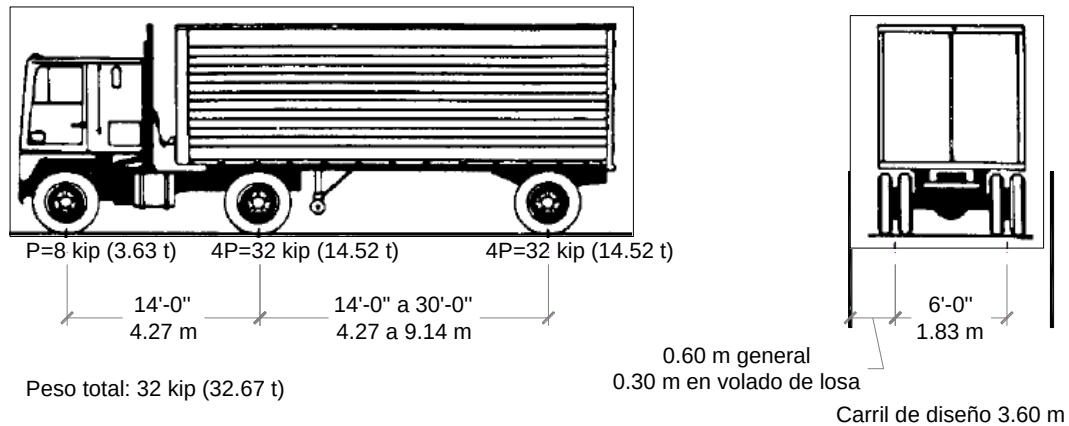


Figura 1. Características del camión de diseño

Tándem de diseño

El tándem de diseño se especifica en la siguiente figura:

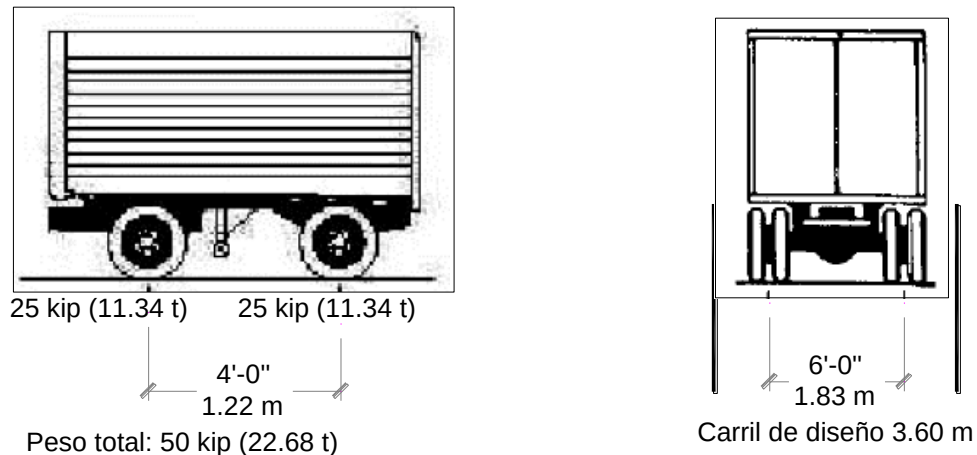


Figura 2. Características del tándem de diseño

Carga de carril de diseño

La carga de carril de diseño consiste de una carga distribuida uniformemente de 0.64 k/f en la dirección longitudinal, distribuida en un ancho de 10 pies, tal como se muestra en la siguiente figura:

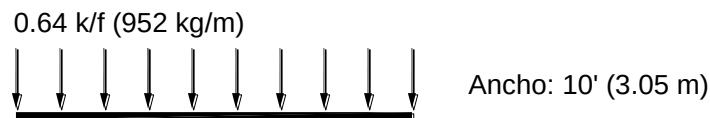


Figura 3 Características de carga de carril de diseño

Área de contacto de neumáticos

Las Especificaciones AASHTO establecen que el área de contacto de neumáticos de una o dos ruedas se asume como un rectángulo simple de 0.51m de ancho y 0.25m de longitud (3.6.1.2.5).

Distribución de la carga viva a través de terrenos de relleno (Art. 3.6.1.2.6a)

Las Especificaciones AASHTO señalan que, en las alcantarillas de tramo simple, el efecto de la carga viva se desprecia cuando la profundidad del relleno es mayor que 2.44 m y excede también la longitud del tramo; en cambio para alcantarillas de tramos múltiples el efecto se desprecia cuando la profundidad del relleno excede la distancia entre caras interiores de las paredes extremas.

La carga viva se distribuye a las losas superiores planas de alcantarillas de tres lados o alcantarillas en arco de concreto de tramo largo y con relleno menor que 0.61m, según los anchos de franja equivalente contemplados en el Art. 4.6.2.10.

La carga viva se distribuye a las alcantarillas tubulares de concreto con menos de 0.61 m de cubierta en concordancia con la Ec. 4.6.2.10.2-1, independiente de la dirección del recorrido. Las alcantarillas redondas de concreto con relleno entre 0.30 m a 0.61 m se diseñan para una profundidad de 0.30 m. Las alcantarillas redondas con menos de 0.30 m de relleno se analizan bajo métodos más exhaustivos.

Cuando la profundidad del relleno sobre alcantarillas redondas que no sean de concreto sea mayor que 0.30 m o cuando la profundidad del relleno sobre la parte superior plana de alcantarillas de tres lados, o en alcantarillas en arco de concreto de tramo largo, o en tubos de concreto, sea 0.61 m o más, la carga viva se distribuye a la estructura como carga de rueda uniformemente distribuida sobre el área de contacto del neumático especificado en el Art. 3.6.1.2.5 incrementado por los factores de distribución de carga viva (LLDF) especificados en la Tabla 3.6.1.2.6a-1 y las disposiciones de los Art. 3.6.1.2.6b y 3.6.1.2.6c. Pueden usarse también métodos de análisis más precisos.

Cuando el tráfico es paralelo al tramo, las alcantarillas se analizan para una sola vía cargada con el factor de presencia múltiple respectivo. Para tráfico perpendicular al tramo de la alcantarilla, el análisis incluirá la consideración de las cargas de vía múltiple con los factores de presencia múltiple apropiados. Sólo la carga de eje del camión o tándem de diseño de los Art. 3.6.1.2.2 y 3.6.1.2.3 se aplicará respectivamente como carga viva en las alcantarillas, independientemente de la orientación del tráfico.

Si la carga viva y el momento tolerable por carga dinámica en la losa de concreto basados en la distribución de la carga de rueda a través del relleno de suelo, exceden la carga viva y el momento tolerable por carga dinámica calculado de acuerdo a los Art. 4.6.2.1 y 4.6.3.2, el momento último será utilizado.

Factor de Distribución de Carga Viva (LLDF) para estructuras enterradas

De acuerdo al artículo 3.6.1.2.6 de AASHTO, la distribución de la carga viva para estructuras enterradas se da según los factores definidos en la siguiente tabla:

Tipo de estructura	LLDF Transversal o paralelo al tramo
Tubos de hormigón con una profundidad de relleno superior o igual a 0.61m	1.15 para diámetro $\leq 0.61\text{m}$ 1.75 para diámetro $\geq 2.44\text{m}$ Interpolar linealmente para valores de LLDF entre estos límites
El resto de alcantarillas y otras estructuras enterradas	1.15

Figura 4. Factor de Distribución de Carga Viva (LLDF) para estructuras enterradas (Tabla 3.6.1.2.6a-1, AASHTO)

4.3. EMPUJE LATERAL DEL SUELO

De acuerdo al art. 3.11 de la AASHTO LRFD, se considera:

EH: Empuje horizontal del suelo

ES: Sobrecarga de suelo

LS: Sobrecarga viva

El Empuje del Suelo se considerará en función de los siguientes factores:

Tipo y peso unitario del suelo, contenido de agua, características de fluencia del suelo, grado de compactación, ubicación del nivel freático, interacción Suelo-Estructura, cantidad de sobrecarga, efectos sísmicos, ángulo de la pendiente del relleno posterior, inclinación del muro.

La presión lateral del suelo es linealmente proporcional a la profundidad de la tierra y se toma como:

$$p = k \gamma_s z$$

Siendo:

p: Empuje lateral del suelo (kg/m²)

k: Coeficiente de empuje lateral, tomado como k_0 para muros que no se deforman ni se mueven, k_a para muros que se deforman o mueven lo suficiente para alcanzar la condición

mínima activa, o k_p para muros que se deforman o mueven lo suficiente para alcanzar una condición pasiva.

γ_s : Peso unitario del suelo (kg/m³)

z : Profundidad del suelo debajo de la superficie (m)

Coeficiente de Empuje Lateral Activo, k_a

De acuerdo al artículo 3.11.5.3. de la AASHTO LRFD, el coeficiente de empuje lateral activo puede tomarse como:

$$k_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi'_f)}{\Gamma[\sin^2\theta \sin(\theta - \delta)]}$$

Siendo:

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

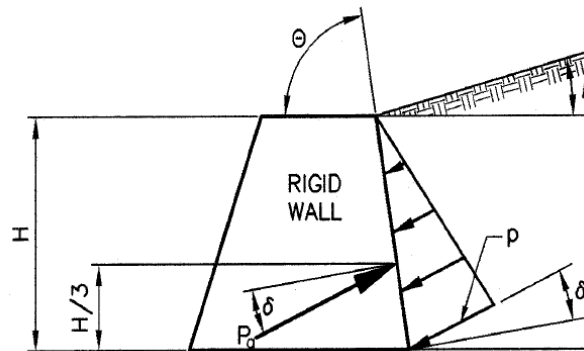
Donde:

δ : Ángulo de fricción entre relleno y muro

β : Ángulo que forma la superficie del relleno respecto de la horizontal

θ : Ángulo que forma el respaldo del muro respecto de la horizontal

ϕ'_f : Ángulo efectivo de fricción del suelo



Notación para Empuje Activo de Coulomb

De acuerdo a la teoría de Rankine, si $\delta = \beta = 0$, $\theta = 90^\circ$, el valor del coeficiente de empuje lateral activo k_a de las expresiones de la teoría de Colulomb se simplifican a:

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

Coeficiente de Empuje Lateral Pasivo, k_p

El coeficiente de empuje lateral pasivo puede tomarse como:

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

De acuerdo a la teoría de Rankine, si $\delta = \beta = 0$, $\theta = 90^\circ$, se tiene:

$$k_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'_f}{2} \right)$$

Sin embargo, conforme el valor de δ crece, el método de cálculo de Coulomb da valores erróneos crecientes de Pp. El Reglamento AASHTO adopta el siguiente método introducido por Caquot y Kerisel:

Para suelos no cohesivos, los valores del coeficiente de presión pasiva lateral de la tierra se pueden tomar de la Figura 3.11.5.4-1 para el caso de un muro inclinado o vertical con un relleno horizontal o de la Figura 3.11.5.4-2 para el caso de un muro vertical y relleno inclinado. La presión pasiva puede calcularse usando un procedimiento de prueba basado en la teoría de cuña, por ejemplo, ver Terzaghi et al. (1996). Cuando se utiliza la teoría de cuña, el valor límite del ángulo de fricción de la pared no debe tomarse más de la mitad del ángulo de fricción interna, ϕ'_f .

Para suelos cohesivos, los valores del coeficiente de presión pasiva lateral de la tierra se pueden estimar de la siguiente manera:

$$P_p = k_p \gamma_s z + 2c \sqrt{k_p}$$

Donde:

Pp: Empuje lateral pasivo del suelo (kg/m²)

γ_s : Peso específico del suelo (kg/m³)

z: Profundidad debajo del suelo (m)

c: Cohesión del suelo (kg/m²)

kp: Coeficiente de empuje lateral pasivo del suelo (ver Figs. 3.11.5.4-1 3.11.5.4-2)

4.4. CARGAS HIDRÁULICAS

WA: Cargas Hidráulicas

Presión Hidrostática.

Se supondrá que la presión estática del agua actúa perpendicularmente a la superficie que retiene el agua.

La presión se calculará como el producto de la altura del agua por encima del punto de consideración y el peso específico del agua.

Los niveles de agua de diseño para varios estados límites deben ser especificados y/o aprobados por el propietario

Flotabilidad

La flotabilidad se considerará una fuerza de levantamiento, como la suma de los componentes verticales de las presiones hidrostáticas, que actúa sobre todos los componentes por debajo del nivel del agua de diseño.

4.5. COMBINACIONES DE CARGA:

Las alcantarillas deberán diseñarse para resistir diferentes tipos de combinaciones de carga con niveles de seguridad apropiados para cada caso, que se basan en la probabilidad de ocurrencia de acciones simultáneas correspondientes a cada tipo de carga. De acuerdo al artículo 3.4 de la AASHTO, El efecto total de la fuerza factorizada se deberá tomar como:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \quad (3.4.1 - 1)$$

Q_i : Solicitación

γ_i : Factor de carga

El Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD) requiere satisfacer la siguiente ecuación:

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \quad (1.3.2.1 - 1)$$

Donde:

γ_i : Factor de carga

ϕ : Factor de resistencia

η_i : Modificador de cargas. Factor relacionado con la ductilidad, la redundancia y la clasificación operacional

η_D : Factor relacionado con la ductilidad

η_R : Factor relacionado con la redundancia

η_I : Factor relacionado con la importancia operativa

Q_i : Solicitación

R_n : Resistencia nominal

R_r : Resistencia factorada o mayorada = ϕR_n

Siendo $\eta_i = \eta_D + \eta_R + \eta_I = 1$

Los estados límites aplicables al diseño estructural de alcantarillas son:

Resistencia I: Combinación básica de cargas que representa el uso vehicular normal, sin viento.

Servicio I: Combinación de cargas que representa la operación normal con un viento de 90 km/h, tomando todas las cargas a sus valores normales. También relacionado con el control de deflexión en estructuras metálicas enterradas, placa de revestimiento de túnel y tubería termoplástica, para controlar el ancho de fisura en estructuras de hormigón armado y para el análisis transversal relacionado con la tensión en vigas segmentadas de hormigón. Esta combinación de carga también se debe usar para la investigación de la estabilidad de taludes.

Siendo:

Cargas Permanentes:

DC: Peso propio de los componentes estructurales y accesorios no estructurales

DW: Peso propio de las superficies de rodamiento e instalaciones para servicios públicos

EH: Empuje horizontal del suelo

ES: Sobrecarga de suelo

EV: Presión vertical del peso propio del suelo de relleno

Cargas Transitorias:

IM: Incremento por carga vehicular dinámica

LL: Sobrecarga vehicular

LS: Sobrecarga de la carga viva

WA: Cargas de agua y presión del flujo de agua

Se considera dos estados de carga: Ducto lleno de agua y ducto vacío.

Combinación de cargas Estados Límites	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	Usar sólo uno por vez				
										EQ	BL	IC	CT	CV
Resistencia I (excepto notas)	γ_P	1.75	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Resistencia II	γ_P	1.35	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Resistencia III	γ_P	—	1.00	1.4 0	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Resistencia IV	γ_P	—	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	—	—	—	—	—	—	—
Resistencia V	γ_P	1.35	1.00	0.4 0	1.0	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Evento Extremo I	γ_P	γ_{EQ}	1.00	—	—	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—	—
Evento Extremo II	γ_P	0.50	1.00	—	—	1.00	—	—	—	—	1.00	1.00	1.00	1.00
Servicio I	1.00	1.00	1.00	0.3 0	1.0	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Servicio II	1.00	1.30	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	—	—	—	—	—	—	—
Servicio III	1.00	0.80	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Servicio IV	1.00	—	1.00	0.7 0	—	1.00	1.00/1.20	—	1.0	—	—	—	—	—
Fatiga I— LL, IM & CE solamente	—	1.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fatiga II— LL, IM & CE solamente	—	0.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Figura 5. Factores de carga y combinaciones (Tabla 3.4.1-1, AASHTO)

Tipo de carga, Fundación y Método Usado para Calcular Fricción Negativa (Downdrag)		Factor de Carga	
		Máximo	Mínimo
DC: Elemento y Accesorios		1.25	0.90
DC: Sólo Resistencia IV		1.50	0.90
DD: Downdrag	Pilotes, Método Tomlinson α	1.4	0.25
	Pilotes, Método λ	1.05	0.30
	Ejes perforados. Método O' Neill and and Reese (1999)	1.25	0.35
DW: Superficies de rodamiento e instalaciones para servicios		1.50	0.65
EH: Presión Horizontal del terreno			
• Activa		1.5	0.9
• En reposo		1.35	0.9
• AEP para muros anclados		1.35	N/A
EL: Tensiones residuales en construcción		1.00	1.00
EV: Presión Vertical del Terreno			
• Estabilidad Global		1	N/A
• Muros de sostenimiento y Estribos		1.35	1
• Estructura rígida enterrada		1.3	0.9
• Marcos rígidos		1.35	0.9
• Estructuras flexibles enterradas		1.5	0.9
o Alcantarillas cajon metálicas y de placas estructurales con corrugaciones			
o Alcantarillas Termoplásticas		1.3	0.9
o Todas las demás		1.95	0.9
ES: Sobrecarga de suelo		1.50	0.75

Figura 6. Factor de reducción para carga permanente (Tabla 3.4.1-2, AASHTO)

5. DISEÑO ESTRUCTURAL

En el proyecto se tiene dos colectores donde se proyecta el uso de ductos cajón simple (una celda) comprendido como una es un sistema estructural enterrado, parte de la infraestructura de alcantarillado pluvial, que está compuesto por losas y muros laterales, formando elementos rígidos de tramo simple (ducto simple).

Las losas y muros estarán compuestos de hormigón armado y el diseño será de acuerdo al método de diseño por factores de carga y resistencia según las normas AASHTO LRFD, considerando los estados límites de Resistencia I y servicio I.

El procedimiento de análisis se divide en dos estados de carga:

Primer estado: Ducto cajón lleno de agua.

Segundo estado: Ducto cajón vacío.

Los ductos cajón serán diseñadas para que cumplan los factores de carga y combinaciones de carga, así como los estados límites, estipuladas en la sección 3.4 del código AASHTO LRFD.

Las cargas consideradas son peso propio de losas y muros, carpeta asfáltica, relleno sobre ducto, peso del agua, empuje lateral del suelo, empuje lateral hidrostático, carga viva y empuje lateral del suelo por efecto de la carga viva.

Para el análisis estructural se ha considerado que la losa de fondo de la alcantarilla es rígida con respecto al suelo. El suelo de fundación se ha considerado como un medio elástico el mismo que ha sido modelado mediante resortes elásticos, cuya rigidez es determinada a partir del coeficiente de Balasto, tomando en consideración los valores recomendados por autores como Terzagui y Winkler.

Se ha elaborado modelos matemáticos empleando un programa de análisis por elementos finitos, ingresando sus geometrías, propiedades, condiciones de apoyo y sollicitaciones de carga, así como las propiedades mecánicas de los materiales.

El criterio de diseño para la estructura de hormigón es el de diseño para resistencia última de los elementos sometidos a cargas mayoradas, considerando los estados límites antes definidos.

En el anexo se muestra los cálculos del análisis y diseño estructural del ducto tipo a emplear.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. MTOP
- American Association of State Highway and Transportation Officials, (A.A.S.H.T.O.) Standard Specification for Highway Bridges 2017 / LRFD Bridge Design Specifications 2017
- Reinforced Concrete Mechanics and Design, 6th edition, James k. Wight y James G Macgregor, 2012

Elaborado:	Revisado:	Aprobado:
Ing. Luis Villavicencio Cavero  Firmado electrónicamente por: LUIS FERNANDO VILLAVICENCIO CAVERO Técnico en Diseño Estructural	Ing. Melanie Álvarez A.  Firmado electrónicamente por: MELANIE ESTEFANIA ALVAREZ ALVARADO Supervisora del Contrato	Ing. Jorge Carrillo Tutivén  Firmado electrónicamente por: JORGE RAUL CARRILLO TUTIVEN Administrador de Contrato