**SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA Y HABITAT**

**GOBERNACION DEL TOLIMA**

# CONSTRUCCIÓN PLACA HUELLA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA VÍA TERCIARIA SAN BERNARDO-SAN JUAN DE LA CHINA, DEL MUNICIPIO DE IBAGUÉ, EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

## VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DEL DISEÑO TIPO A LA ALCANTARILLA DE 36'' DE LA CARTILLA DE OBRAS MENORES DE DRENAJE Y ESTRUCTURAS VIALES.


**ELABORADO POR:**

**MANUEL ANTONIO CARDONA RAMIREZ**

**MSC EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y SÍSMICA**

**M.P. – 031037- 0543700 BLV**


**ENERO DE 2025**

**IBAGUÉ, TOLIMA**

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN ..... 4
2. LOCALIZACIÓN ..... 5
3. OBJETIVOS ..... 6
3.1. OBJETIVO GENERAL ..... 6
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: ..... 6
4. ALCANCE ..... 7
5. NORMATIVIDAD Y SOFTWARE ..... 8
6. ESTRUCTURACIÓN y DIMENSIONAMIENTO ..... 9
7. CARGAS DE DISEÑO ..... 11
7.1. Empujes verticales ..... 11
7.1.1. Peso Propio de la Estructura DC (3.5.1) ..... 13
7.1.2. Presión Vertical del Peso Propio de Relleno EV (3.5.1) ..... 14
7.2. Empujes horizontales ..... 14
7.2.1. Presión del Suelo EH (3.11.5) ..... 15
7.2.2. Sobrecarga por carga viva LS (3.11.6.4) ..... 17
7.3. Carga por Efectos sísmicos EQ (3.10) ..... 18
7.4. Carga de Viento WL y WS (3.8) ..... 18
8. CONSIDERACIONES PRÁCTICAS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y GEOMÉTRICAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES. ..... 20
8.1. Módulo de Elasticidad: ..... 20
8.2. Esfuerzos del acero: ..... 20
8.3. Módulo de corte ..... 21
9. FACTORES Y COMBINACIONES DE CARGAS: ..... 22
10. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES ..... 25
11. RESULTADOS ..... 27
12. CONCLUSIONES ..... 28
13. RECOMENDACIONES ..... 29

## TABALA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de inicio y fin del proyecto. ..... 5

Tabla 2. Cargas Peso Propio de la Estructura. (Fuente: Autor) ..... 14

Tabla 3. Cargas Peso Propio del Relleno. (Fuente: Autor) ..... 14

Tabla 4. Alturas equivalentes de suelo para carga vehicular sobre muros de contención paralelos al trafico. (Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014)..... 18

Tabla 5. Combinaciones y factores de Carga. (Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014) )..... 23

Tabla 6. Factores de Cargas Permanentes, γp (Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014))..... 24

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización del proyecto..... 5

Ilustración 2. Dimensiones del muro Cabezal y del solar de la alcantarilla. (Fuente: (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS COM, 2020)) ..... 9

Ilustración 3. Dimensiones de la Poceta. (Fuente: (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS COM, 2020)) ..... 10

Ilustración 4. División en áreas de la estructura y el relleno para el cálculo de las cargas. (Fuente:Autor) ..... 13

Ilustración 5. Nomenclatura para la Presión activa de Coulomb. (Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014)) ..... 17

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente Informe está enfocado en la evaluación de la estructura tipo, para las alcantarillas consignada en la "CARTILLA DE OBRAS MENORES DE DRENAJE Y ESTRUCTURAS VIALES. Aunque esta estructura, se admite tal cual está en la cartilla, es pertinente según lo que dicta la pagina 8 de la cartilla" Esta cartilla se presenta como una ayuda para el diseño, el presupuesto y construcción para entidades del estado, y es responsabilidad del usuario final asegurarse que se cumplan con todas las premisas de diseño y constructivas para la implantación final de los elementos aquí contenidos" (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS COM, 2020) por lo que el presente informe es con el fin de asegurar que la estructura de la alcantarilla tipo cumpla con los parámetros de diseño.

La cartilla objeto de la revisión es la avalada por la Resolución 2483 de 19 de Octubre de 2020, "Por la cual se adopta la cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales del Instituto Nacional de Vías – INVIAS", esta cartilla hace parte del programa "Colombia Rural" como parte del Plan de Nacional de desarrollo 2018 – 2022, y fue instaurada con el fin de mejorar las conexiones en las vías Rurales (Secundarias y Terciarias), brindar a las comunidades localizadas en la zona de influencia, acceso a los centros de consumo y a las carreteras de segundo y primer orden, propiciando el desarrollo económico y social mediante estas actividades de mejoramiento, las cuales se pueden desarrollar bajo diferentes esquemas de financiación. Esta cartilla aplica para obras menores de drenaje y estructuras viales consignadas en ella, usadas como herramienta y complemento a los programas de pavimentación en vías de bajos volúmenes de tránsito.

Ahora en cuanto a la definición de vías secundarias, estas son según el Manual de diseño geométrico 2008, que categoriza las vías según su funcionalidad, califica las vías secundarias como aquellas que unen las caberas municipales, o que unen una cabecera municipal y una carretera primaria, mientras que las terciarias con aquellas que unen cabeceras municipales con sus veredas, o unen las propias veredas. (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS MDG, 2008).

## 2. LOCALIZACIÓN

El tramo objeto de intervención se encuentra localizado en la vía terciaria que, del municipio de Ibagué, que comunica San Bernardo y san Juan de la china, en el departamento del Tolima, específicamente en las siguientes coordenadas y ubicación.

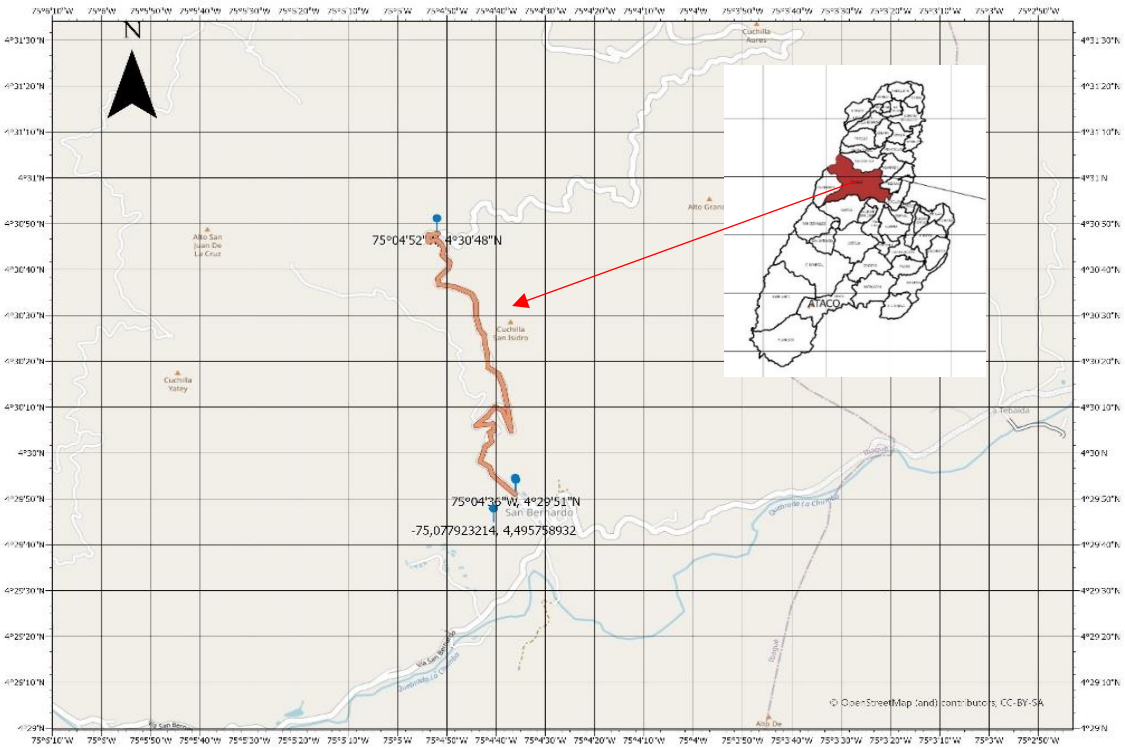



Ilustración 1. Localización del proyecto.

La localización especifica del proyecto se encuentra ubicada al norte de la salida del casco urbano de San Bernardo.

Tabla 1. Coordenadas de inicio y fin del proyecto.

| COORDENADAS | | |
|---|---|---|
| Punto | LATITUD | LONGITUD |
| INICIAL | 4°29'51 | - 75°04'36" |
| FINAL | 4°30'48 | - 75°04'52" |

# 3. OBJETIVOS

## 3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar y chequear la estructura de la Alcantarilla de 36 pulgadas consignada en la Cartilla de Obras menores de Drenaje y Estructuras Viales, garantizando que cumpla con los requerimientos de seguridad, funcionalidad, durabilidad y con las normativas vigentes, específicamente la CCP-14.

## 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar las cargas vivas, muertas y de Agua que afectarán la estructura de la cubierta del balcón, conforme a la normativa CCP-14.
- Verificar que los materiales sean los más adecuados para la construcción de la alcantarilla, asegurando su resistencia y durabilidad ante las condiciones de la zona.
- Chequear los elementos estructurales (Cabezal, Solar y Poceta) de la Alcantarilla de acuerdo con los cálculos de carga, las propiedades mecánicas del suelo y de los materiales.

## 4. ALCANCE

- El diseño estructural incluye, memoria de cálculo, planos estructurales con detalles estructurales (suministrado por la Cartilla de Obras menores de Drenaje y Estructuras Viales), materiales para la construcción de la Alcantarilla. Los entregables del alcance anteriormente mencionado serán los siguientes:
- Determinación de las cargas que soportará la estructura, tanto las cargas vivas como las cargas muertas, así como otros factores que puedan afectarla.
- Verificación de las especificaciones técnicas de los materiales a utilizar en la construcción de la estructura, tomando en cuenta la resistencia y durabilidad requerida.
- Chequeo de los elementos estructurales que conforman la obra, tales como Cabezal, Poceta, de la alcantarilla para garantizar la estabilidad y resistencia de la estructura.
- memorias de cálculo estructural que describan el proceso de diseño.
- Realización de cálculos estructurales para asegurar la estabilidad y resistencia, incluyendo análisis de esfuerzos, cumpliendo con la normatividad vigente,
- Especificaciones de los materiales de construcción que se van a utilizar en la estructura y toda información adicional que sea relevante para la construcción.

## 5. NORMATIVIDAD Y SOFTWARE

Se emplean hojas de cálculo hechas por el profesional, como herramienta para el análisis y diseño de todos los elementos que conforman la estructura a desarrollar. El diseño y análisis de la estructura se hará en base de los criterios, recomendaciones y normatividad legal vigente en la República de Colombia, para diseño de estructuras la CCP14: Código Colombiano de diseño de puentes, pero también se tuvieron en cuenta los siguientes marcos normativas, como puntos de referencia, comparativa, o para variables de análisis no contempladas en la Normativa base.

- Cartilla de Obras menores de Drenaje y Estructuras Viales.
- Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (INVIAS - 2022).
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente (NSR - 2010).
- Manual de Drenaje para carreteras 2009.
- AASHTO Standard Specifications for highway bridges (en el caso de haber parámetros que no se contemplen en la CCP -14).
- ICONTEC (NTC).
- ASTM (American Society Testing Materials).
- ACI 318 ( American Concrete Institute).

## 6. ESTRUCTURACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO

El dimensionamiento de la estructura se tomo de los planos mostrados en la Cartilla de Obras menores de Drenaje y Estructuras Viales:

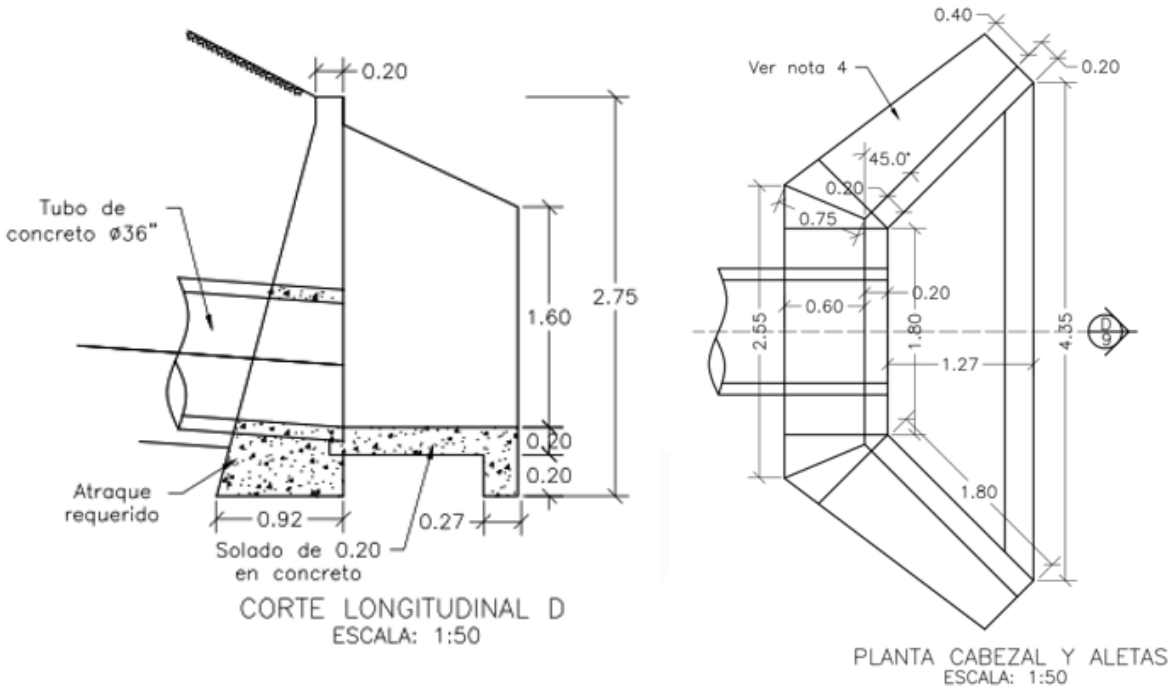



Ilustración 2. Dimensiones del muro Cabezal y del solar de la alcantarilla. (Fuente: (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS COM, 2020))

El muro cabezal se tomó con 0.92 m de ancho en la base, decreciendo hasta los 0.2 m de ancho en su cota superior, con un guarda ruedas de 0.2 m por 0.2 m, la altura total de muro mas guardarruedas es de 2.75 m, en cuanto a el solar este tiene las medidas de 1.27 m con un dentellón de 0.2 m de alto y 0.27 m de ancho, como se muestra en la Ilustración 1.

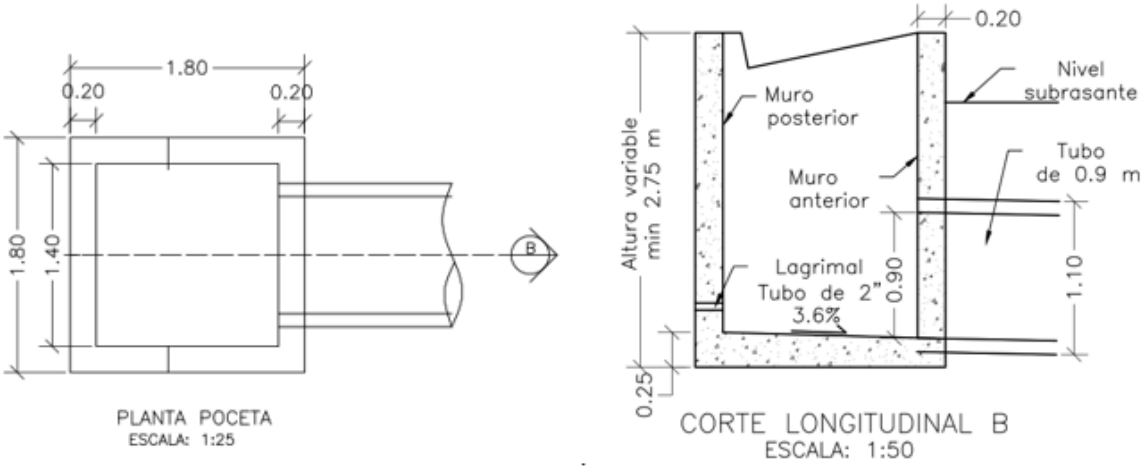



Ilustración 3. Dimensiones de la Poceta. (Fuente: (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS COM, 2020))

La poceta se tomo como un muro perimetral de 0.2 metros de ancho por 2.5 metros de alto, y una losa cuadrada de 0.25 m de espesor y 1.8 m de lados.

## 7. CARGAS DE DISEÑO

Las Estructuras viales, como Puentes, Muros de contención, pontones, y estructuras enterradas como alcantarillas, Box Culvert, deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de uso previsto. Estas actuaran en las combinaciones prescritas y no causaran esfuerzos que excedan los admisibles señalados para cada material estructural y los factores de reducción, según lo especificado en la CCP14. En ningún caso las cargas asumidas como representación de la realidad, serán menores que los valores establecidos en esta norma.

La elección de las cargas se plantea con el fin de representar las condiciones que pueden presentarse durante la vida útil de una estructura. Esto puede requerir a menudo una recolección de datos en el lugar en que se ubicara la estructura que junto con los requisitos del código colombiano de puentes (CCP14), forman la base a partir del cual se cuantifican las dimensiones y cantidades de acero y concreto que debe llevar la estructura.

Las cargas a Considerar Según la CCP14 en la Sección 12, Estructuras Enterradas

**12.6.1 — Cargas —** Las estructuras enterradas se deberán diseñar para las solicitaciones resultantes de los empujes horizontales y verticales del suelo, la carga del pavimento, la sobrecarga y el incremento por carga dinámica. Si las condiciones constructivas o del sitio de emplazamiento lo ameritan, se deberán evaluar la sobrecarga de suelo, las sobrecargas vivas, las cargas de fricción negativa y la presión hidrostática externa. Para las estructuras enterradas cuyo punto más bajo está ubicado por debajo del nivel freático se deberán evaluar las cargas atribuibles a la flotabilidad en agua a fin de controlar la flotación, según se indica en el Artículo 3.7.2. Las cargas sísmicas se deben considerar solamente si las estructuras enterradas atraviesan fallas activas. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014).

Para el presente chequeo, las cargas tenidas en cuenta son: Peso Propio de la estructura (DC), Peso del Relleno (EV), Empuje Activo del Relleno (EH), Sobre carga por Carga viva (LS).

### 7.1. Empujes verticales

Los empujes verticales en el diseño de muros de contención y estructuras enterradas son fuerzas que actúan perpendiculares a la superficie de contacto entre la cimentación del muro o cabezal y el suelo. Estos empujes

resultan principalmente del peso del suelo y de otras cargas superpuestas, como vehículos y estructuras. Al diseñar un muro de contención o los elementos de la alcantarilla, es esencial considerar estos empujes verticales para garantizar la estabilidad y la integridad estructural de la construcción. Los empujes verticales influyen en la capacidad de soporte del suelo y en la distribución de las tensiones a lo largo de la estructura, lo que ayuda a determinar el tamaño y la resistencia necesarios para los materiales utilizados. Un diseño adecuado debe incluir un análisis detallado de estos empujes para evitar problemas como asentamientos diferenciales, fallas estructurales y deformaciones excesivas.

### *7.1.1. Peso Propio de la Estructura DC (3.5.1)*

Las cargas del peso propio de la estructura se determinan mediante el cálculo directo del peso de todos los componentes estructurales cuya posición no se modificará durante su vida útil. Si se conocen con precisión las dimensiones de los elementos, la determinación es rápida. Sin embargo, esto no sucede con frecuencia, ya que un diseño estructural generalmente parte de una estimación preliminar de las dimensiones de los mismos, las cuales pueden modificarse a medida que se refina el diseño. En el caso del chequeo de la estructura de la cartilla, estas dimensiones ya están definidas, por lo que, partiendo de ellas, se procede a estimar los pesos para realizar las

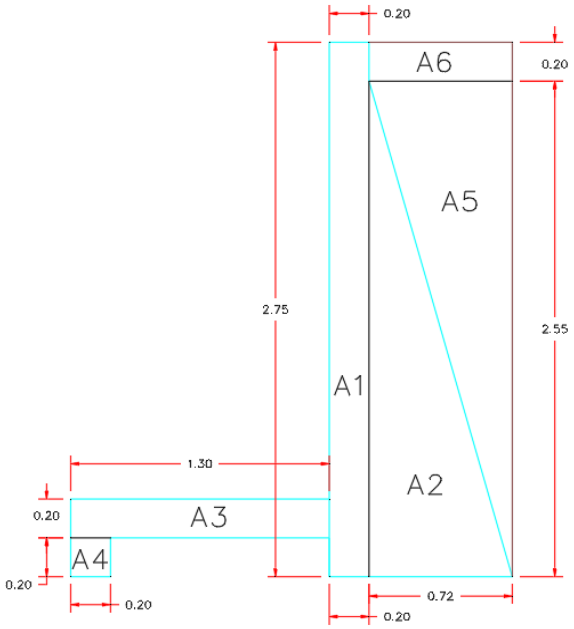



Ilustración 4. División en áreas de la estructura y el relleno para el cálculo de las cargas. (Fuente:Autor)

El peso propio de la estructura obedece a las cargas de cada uno de los elementos que la compone, estos elementos, para el cálculo de sus cargas son divididos en áreas simples, estas cargas y momentos se calculan por metro lineal de estructura, en la Ilustración 4 se muestra la división de las áreas usada.

Tabla 2. Cargas Peso Propio de la Estructura. (Fuente: Autor)

| Avaluo de Cargas Permanentes (DC) | | | |
|---|---|---|---|
| **ORIGEN** | **PESO (t/m)** | **Xo** | **Mo (t.m/m)** |
| DC1 | 1.32 | 1.4 | 1.85 |
| DC2 | 2.20 | 1.74 | 3.83 |
| DC3 | 0.62 | 0.65 | 0.41 |
| DC4 | 0.10 | 0.1 | 0.01 |
| SUMA | 4.24 | | 6.10 |

Para el cálculo de las cargas además se usó un peso específico del concreto de 2.4 ton/m3, y se halló el momento con respecto a la esquina inferior izquierda del A4 de la Ilustración 4, dando como resultado los pesos y momentos de la Tabla 2.

Según la CCP14 las cargas por peso propio DC, entraría en la categoría de cargas Muertas y se define de la siguiente manera:

**3.5.1 — Cargas muertas:** DC, DW y EV La carga muerta debe incluir el peso de todos los componentes y sus aditamentos, de la estructura, de los servicios públicos adheridos a ésta, de los recubrimientos del suelo, pavimentos, de los recubrimientos futuros, y de los ensanchamientos proyectados. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014)

### *7.1.2. Presión Vertical del Peso Propio de Relleno EV (3.5.1)*

El peso propio de relleno, como dice el CCP14 en el inciso 3.5.1, es considerado también Carga Muerta, y en nuestro caso de estudio corresponde al Área 5 y 6 de la Ilustración 4, para el calculo del peso y los momentos del relleno se consideró el peso especificado en las notas del plano 16 de la Cartilla de obras menores. (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS COM, 2020), de 19 kN/m3, y se hallaron el momento con respecto a la esquina inferior izquierda del A4 de la Ilustración 4, dando como resultado los pesos y momentos de la Tabla 3. Cargas Peso Propio del Relleno. (Fuente: Autor).

Tabla 3. Cargas Peso Propio del Relleno. (Fuente: Autor)

| Avaluo de Cargas Provenientes del suelo (EV) | | | |
|---|---|---|---|
| **ORIGEN** | **PESO (t/m)** | **Xo** | **Mo (t.m/m)** |
| EV5 | 1.78 | 1.98 | 3.52 |
| EV6 | 0.28 | 1.86 | 0.52 |
| SUMA | 2.0568807 | | 4.04 |

## 7.2. Empujes horizontales

Los empujes horizontales en el diseño de muros de contención y estructura enterradas son fuerzas que actúan paralelas a la superficie de contacto entre el muro o alcantarilla y el suelo. Estos empujes son generados principalmente por la presión del suelo y otras cargas laterales, como el agua subterránea o el tráfico de vehículos. Al diseñar un muro de contención o el cabezote de una alcantarilla o box, es crucial tener en cuenta estos empujes horizontales para garantizar la estabilidad por volteo y deslizamiento y la integridad estructural de la construcción. Los empujes horizontales afectan directamente el dimensionamiento de las estructuras y es afectado directamente por las propiedades mecánicas del suelo de relleno y de fundación de la estructura.

### *7.2.1. Presión del Suelo EH (3.11.5)*

**3.11.5.1 — Presión Lateral del Suelo** Debe suponerse que la presión lateral del suelo es linealmente proporcional a la profundidad de la sección del suelo medida desde la superficie, y que varía de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$p = k\gamma_s z \qquad (3.11.5.1\text{-}1)$$

Donde:

- **p** = presión lateral del suelo (kPa)
- **k** = coeficiente de presión lateral del suelo tomado como:
    - **ka**, especificado en los Artículos 3.11.5.3, 3.11.5.6 y 3.11.5.7, para muros que se deflecten o se muevan suficientemente para alcanzar condiciones activas mínimas;
- **ys** = peso unitario del suelo (kN/m³)
- **z** = profundidad del suelo bajo la superficie (mm)

La carga lateral resultante de suelo debida al peso del relleno debe suponerse que actúa a una altura de **H/3** por encima de la base del muro, donde **H** es la altura total del muro, medida desde la superficie del terreno detrás del muro, incluyendo el espesor de la carpeta de nivelación en la parte superior de la carpeta de nivelación (para estructuras de tierra armada). (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014)

Para el calculo de las cargas, se va a usar para chequear deslizamiento y volcamiento por lo que la condición va a ser de movimiento, y además se va a chequear el cabezal a momento por lo que se va a deflectar, es decir

que se usara Ka (Coeficiente de Presión Activa) para el cálculo de la Presión del suelo.

Para el caculo del Coeficiente de presión Activa Ka se usa la teoría de Coulomb sobre presiones de suelos, esta está en la sección 3.11.5.3 de la CCP14, sin embargo, para el chequeo del diseño tipo, se usará el **Ka** especificado en las notas del plano 16 de la Cartilla de obras menores. (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS COM, 2020), el cual es de 0.4, y se despejo de la ecuación de coulomb el ángulo para este coeficiente Ka, dando como resultado un ángulo de fricción de 25°.

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

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

en la cual:

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

- δ = ángulo de fricción entre el relleno y el muro como se especifica en la Tabla 3.11.5.3-1 (°).
- β= ángulo del relleno con respecto a la horizontal como se muestra en la Figura 3.11.5.3-1 (°).
- θ= ángulo de la cara trasera del muro con respecto a la horizontal como se muestra en la Figura 3.11.5.3-1 (°).
- φ'f= ángulo efectivo de fricción interna (°).

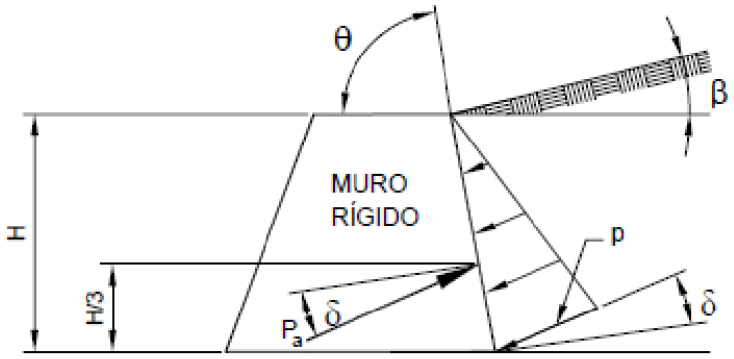



Ilustración 5. Nomenclatura para la Presión activa de Coulomb. (Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014))

### *7.2.2. Sobrecarga por carga viva LS (3.11.6.4)*

la carga viva se refiere a las fuerzas temporales o móviles que actúan sobre una estructura debido al tránsito vehicular, peatones, y otros elementos transitorios. Esta carga es un factor crucial en el diseño, ya que agregarlas influye en la estabilidad y resistencia de infraestructuras como puentes, muros de contención y alcantarillas. La sección **3.11.6.4** aborda específicamente la aplicación de la sobrecarga por carga viva, indicando que debe considerarse donde se espera carga vehicular sobre la superficie del relleno.

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

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

$$\Delta_p = k\gamma_s h_{eq} x10^{-9} \qquad (3.11.6.4\text{-}1)$$

Donde:

- Δp = presión constante horizontal de suelo debida a la sobrecarga por carga viva (MPa).
- γs = peso unitario total de suelo (kN/m³). **Definido en el capítulo 7.1.2**
- k= coeficiente de presión lateral de suelo. **Definido en el capítulo 7.2.1**.
- heq = altura equivalente de suelo para carga vehicular (mm).

Tabla 4. Alturas equivalentes de suelo para carga vehicular sobre muros de contención paralelos al trafico. (Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014)

| Altura del Muro de Contención (mm) | $h_{eq}$ (m) Distancia desde el respaldo del muro al borde del tráfico | |
|---|---|---|
| | 0.0 mm | 300 mm o más |
| 1500 | 1500 | 600 |
| 3000 | 1000 | 600 |
| ≥ 6000 | 600 | 600 |

### 7.3. Carga por Efectos sísmicos EQ (3.10)

Según lo especificado en la Sección 12.6.1 de la CCP14, referenciada en el Capítulo 7 del presente informe y también en la sección 3.10.1 en generalidades "No es necesario considerar los efectos sísmicos para alcantarillas en cajón y estructuras enterradas, excepto donde crucen fallas activas.", y teniendo cuenta que en el componente geológico se concluye que en la ubicación de las estructuras no se cruza por fallas geológicas, en el presente chequeo no se tendrá en cuenta las cargas por efectos sísmicos.

### 7.4. Carga de Viento WL y WS (3.8)

Según lo especificado en la Sección C12.6.1 de la CCP14:

**C12.6.1 —** Las estructuras enterradas se benefician de los efectos favorables que le ofrecen tanto la protección del suelo como sus condiciones de apoyo, y esto reduce o elimina la necesidad de considerar muchas de las cargas y combinaciones de cargas especificadas en el Artículo 3.4. Típicamente, estas estructuras se ven poco afectadas por las cargas de viento, los efectos de la temperatura, el frenado de los vehículos y las fuerzas centrífugas. El peso propio de la estructura, la sobrecarga peatonal y las cargas de hielo son insignificantes comparadas con las solicitaciones que provoca el suelo de relleno. Si es que existe, la presión hidrostática externa puede aumentar considerablemente el empuje total que actúa sobre un tubo enterrado.

Las fuerzas de colisión de vehículos solamente se aplican a los accesorios tales como los muros de remate y las barandas. Excepto la flotabilidad y las cargas de colisión de embarcaciones, el agua solamente puede actuar en la dirección longitudinal de la alcantarilla, es decir en la dirección no crítica.

Debido a la ausencia o baja magnitud de estas cargas, son las Combinaciones de Cargas correspondientes a Estado Límite de Servicio I y

Resistencia I y II las que determinan el diseño, o bien las cargas constructivas. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014).

Siguiendo las recomendaciones anteriores tampoco se tendrán en cuenta las Cargas de Viento.

## 8. CONSIDERACIONES PRÁCTICAS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y GEOMÉTRICAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

En todo proceso de análisis estructural están implícitas aproximaciones en las propiedades de los materiales, las características estructurales y las acciones que actúan sobre ella, cuyas razones se justifican para obtener soluciones a costos razonables. Reconociendo que el análisis no es el objetivo final del proyectista, sino el medio que permite efectuar posteriormente el diseño; entonces el modelo estructural debe representar lo esencial del comportamiento, pero puede prescindirse de los detalles que dificultarían innecesariamente el análisis.

Para efectuar el análisis estructural se requiere conocer el módulo de elasticidad, módulo de cortante del material, el área que soporta las cargas axiales, el momento de inercia de la sección transversal para la flexión y el área de cortante que resiste las fuerzas de corte para los diversos elementos estructurales del concreto, como son los muros, las aletas y las placas.

### 8.1. Módulo de Elasticidad:

El módulo de elasticidad E, para acero estructural se tomara según dice la sección 6.4.1 de la CCP14.

$$Es = 200.000\ MPa$$

Para el concreto el modulo de elasticidad esta dado por la ecuación (5.4.2.4-1), de la CCP14, que esta en función del agregado, la densidad del concreto y la resistencia a la compresión F'c del concreto, sin embargo, para concreto de densidad normal con wc=2320 kg/cm3, se puede tomar:

$$Ec = 4800\sqrt{f'c} \qquad (C5.4.2.4-1)$$

Con f'c en MPa.

### 8.2. Esfuerzos del acero:

Los límites de esfuerzo para el acero usados son los siguientes:

Esfuerzo a la tracción mínima: $fu := 1.5 \cdot fy = 4800\ \frac{kgf}{cm^2}$

Esfuerzo de Fluencia esperado: $fye := 1.1 \cdot fy = 3520\ \frac{kgf}{cm^2}$

Esfuerzo a la tracción esperada: $fue := 1.1 \cdot fu = 5280\ \frac{kgf}{cm^2}$

### 8.3. Módulo de corte

Cuando se considera que el concreto es un material isotrópico con un módulo de poisson de aproximadamente 0.2, implica que el módulo de corte: G, es:

$$G_c := \frac{E_c}{2 \cdot (\nu_c + 1)} = 105279.72 \ \frac{kgf}{cm^2}$$

## 9. FACTORES Y COMBINACIONES DE CARGAS:

Para el análisis se han considerado según lo estipulado en la sección C12.6.1 las siguientes combinaciones de carga:

- Resistencia I — Combinación básica de cargas relacionada con el uso vehicular normal del puente sin viento.
- Resistencia II — Combinación de cargas relacionada con el uso del puente con vehículos especiales de diseño especificados por el Propietario, con vehículos de evaluación con permiso, o ambos, sin viento.
- Servicio I — Combinación de carga relacionada con la operación normal de uso del puente con un viento de 90 km/h y con todas las cargas tomadas en sus valores nominales. También relacionada con control de deflexiones en estructuras metálicas enterradas, revestimientos de túneles, y tubería termoplástica, para control del ancho de fisura en estructuras de concreto reforzado, y para análisis transversal relacionado con tracción en vigas de concreto por segmentos. Esta combinación de carga también debe utilizarse para la investigación de la estabilidad de taludes.

Las combinaciones y los factores de carga se toman de la tabla 3.4.1-1 de la CCP14

Tabla 5. Combinaciones y factores de Carga. (Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014) )

| Estado Límite de la Combinación de carga | *DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH* | *LL IM CE BR PL LS* | *WA* | *WS* | *WL* | *FR* | *TU* | *TG* | *SE* | Use uno de estos a la vez | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | *EQ* | *BL* | *IC* | *CT* | *CV* |
| Resistencia I (a menos que se indique) | $\gamma_p$ | 1.75 | 1.00 | - | - | 1.00 | 0.50/1.20 | $\gamma_{TG}$ | $\gamma_{SE}$ | - | - | - | - | - |
| Resistencia II | $\gamma_p$ | 1.35 | 1.00 | - | - | 1.00 | 0.50/1.20 | $\gamma_{TG}$ | $\gamma_{SE}$ | - | - | - | - | - |
| Resistencia III | $\gamma_p$ | - | 1.00 | 1.400 | - | 1.00 | 0.50/1.20 | $\gamma_{TG}$ | $\gamma_{SE}$ | - | - | - | - | - |
| Resistencia IV | $\gamma_p$ | - | 1.00 | - | - | 1.00 | 0.50/1.20 | - | - | - | - | - | - | - |
| Resistencia V | $\gamma_p$ | 1.35 | 1.00 | 0.400 | 1.0 | 1.00 | 0.50/1.20 | $\gamma_{TG}$ | $\gamma_{SE}$ | - | - | - | - | - |
| Evento Extremo I | $\gamma_p$ | $\gamma_{EQ}$ | 1.00 | - | - | 1.00 | - | - | - | 1.00 | - | - | - | - |
| Evento Extremo II | $\gamma_p$ | 0.50 | 1.00 | - | - | 1.00 | - | - | - | - | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Servicio I | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.300 | 1.0 | 1.00 | 1.00/1.20 | $\gamma_{TG}$ | $\gamma_{SE}$ | - | - | - | - | - |
| 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 | $\gamma_{TG}$ | $\gamma_{SE}$ | - | - | - | - | - |
| Servicio IV | 1.00 | - | 1.00 | 0.700 | - | 1.00 | 1.00/1.20 | - | 1.0 | - | - | - | - | - |
| Fatiga I- Sólo *LL , IM & CE* | - | 1.50 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Fatiga I II- Sólo *LL , IM & CE* | - | 0.75 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Y para las cargas permanentes se tienen los siguientes factores de carga tomados de la tabla 3.4.1-2 de la CCP14:

Tabla 6. Factores de Cargas Permanentes, γp (Fuente: (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014))

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

## 10. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

El diseño se ha realizado para las siguientes características de materiales:

- Resistencia del Concreto para elementos Estructurales: F'c=21 Mpa (3000 PSI, Clase D).
- Resistencia del Acero Corrugado: Fy=420 Mpa (2000 PSI).
- Concreto para Solado: F'c= 14 Mpa (2000 PSI).

El Material de relleno se considero con las siguientes características:

- El Peso específico del relleno: γ=19.0 kN/m3.
- Coeficiente de presión Activa de Tierras: Ka=0.4.
- Coeficiente de Presión lateral de suelo en Reposo (Presión Pasiva): Ko=0.5.

Para las características de la capacidad portante del suelo de fundación se toma:

- Capacidad de carga admisible del suelo de fundación: 130 kN/m2

Todos estos parámetros de las características de los materiales que se usaran en el diseño fueron tomados como referencia de la Cartilla de obras menores de drenaje y Estructuras Viales.

En cuanto a los materiales de relleno según la CCP14:

**12.4.1.3 — Suelos Utilizados como Relleno Envolvente** — Se deberán establecer el tipo, la densidad compactada y las características de resistencia de la envolvente de suelo adyacente a la estructura enterrada. Los suelos de relleno utilizados como envolvente deberán satisfacer los requisitos de la Norma AASHTO M145 como se describe a continuación:

- Para los tubos flexibles y estructuras de concretos estándares: A-1, A-2 o A-3 (GW, GP, SW, SP, GM, SM, SC, GC).
- Para las alcantarillas metálicas tipo cajón y las estructuras metálicas de gran ancho que tienen un recubrimiento menor que 3.6 m: A-1, A-2-4, A-2-5 o A-3 (GW, GP, SW, SP, GM, SM, SC, GC). • Para las estructuras metálicas de gran ancho que tienen un recubrimiento mayor o igual que 3.600 m: A-1 o A-3 (GW, GP, SW, SP, GM, SM).
- Para alcantarillas de placas estructurales con corrugas profundas: A-1, A-2-4, A-2-5, o A-3 (ASTM D2487) (GW, GP, SW, SP, GM, SM, SC, GC) y los requisitos del fabricante de la alcantarilla.

- Para alcantarillas termoplásticas, de acero y materiales de relleno: suelos A-1, A-2-4, A-2-5, o A-3. Máximo del 50 por ciento de los tamaños de las partículas de los suelos pasará la No. 10 malla y no más de 20 por ciento puede pasar la malla No. 200. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, 2014)

## 11. RESULTADOS

Como resultado para el diseño de los elementos considerando solo la carga solicitas por la normativa de Código colombiano de puentes CCP14 se tienen los siguientes refuerzos:

- **Solar o Zarpa delantera del cabezal:**

  Refuerzo longitudinal: Colocar 1# 4 c/ 20cm en la cara inferior del talon

  Refuerzo mínimo (transversal y de la cara del relleno): Colocar 1# 4 c/ 45

- **Pantalla del muro o Cabezal de la alcantarilla:**

  Refuerzo longitudinal: Colocar 1# 4 c/ 34cm en la cara superior de la Zapata

  Refuerzo mínimo (transversal y de la cara del relleno): Colocar 1# 4 c/ 30

- **Refuerzo de las Aletas:**

  Refuerzo longitudinal: Colocar 1# 4 c/ 34cm en la cara superior de la Zapata

  Refuerzo mínimo (transversal y de la cara del relleno): Colocar 1# 4 c/ 30

- **Refuerzo de los muros de la Poceta:**

  Refuerzo longitudinal: Colocar 1# 4 c/ 34cm en la cara del relleno

  Refuerzo mínimo (transversal y de la cara del relleno): Colocar 1# 4 c/ 50cm en la cara opuesta al relleno

- **Refuerzo de la Placa de la Poceta:**

  Refuerzo longitudinal: Colocar 1# 4 c/ 50cm en la cara del suelo

  Refuerzo mínimo (transversal y de la cara del relleno): Colocar 1# 3 c/ 20cm en la cara opuesta al suelo

Los elementos antes mencionados cumplieron con todos los chequeos de resistencia a flexión a cortante y están en los márgenes de cuantía máxima y mínima de la CCP14.

## 12. CONCLUSIONES

El chequeo de la alcantarilla tipo de la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales se ha llevado a cabo con base en criterios estructurales y normativos, garantizando que cumpla con las cargas vivas, muertas definidas por el Código Colombiano de Puentes **(CCP-14)**. La estructura cumple con todos los esfuerzos provocados por las cargas en sus estados limite considerados, cumpliendo con las áreas de corte, y las cuantías de acero solicitadas.

La selección de materiales fue verificada considerando tanto la resistencia a las condiciones climáticas como la durabilidad de la estructura, asegurando un largo ciclo de vida con un mantenimiento mínimo.

Los cálculos y planos estructurales que se proporcionarán serán los entregados por el instituto nacional de vías en su Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales en la paginas de la 22 a la 25, Planos numerados de lol 3 al 6.

Se compararon los resultados de las cuantías de acero que dio como resultado el análisis estructural, y cumple con las consignadas en los planos estructurales de la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales, y como se utilizaron las mismas geometrías en las verificaciones (Ver Anexo A), la estructura cumple con lo solicitado para el proyecto.

## 13. RECOMENDACIONES

- Durante el proceso de construcción de la estructura de la alcantarilla, se debe validar las características del suelo de fundación para garantizar la estabilidad, la se plantea realizar un ensayo de penetración estándar (SPT) en suelos, los cuales los resultados encontrados de acuerdo a la profundidad y el tipo de suelo, deben contemplar indiquen la resistencia adecuada o efecto no deben ser menor, de las dispuestas en este documento, al largo de la implantación de las obras.
- En caso de encontrar características y o propiedades del suelo diferentes y más críticas, se deberá realizar un canjeo y reemplazo de material, con mejores características geotécnicas, para garantizar la estabilidad y durabilidad de las obras, dicho material se puede contemplar rellenos con materiales seleccionados.
- Se recomienda seguir la distribución de aceros planteada en los planos anexos al presente documento a fin de garantizar la estabilidad de las obras propuestas.
- En caso de encontrar diferencias entre los planos y las condiciones de terreno, se recomienda comunicarse con el consultor a fin de ofrecer soluciones que no afecten la estabilidad del proyecto.
- Para garantizar un aislamiento entre el terreno natural y la estructura se recomienda utilizar un solado de aislamiento en concreto pobre de 14 Mpa

Estructural:

**MANUEL ANTONIO CARDONA RAMIREZ**
MS.c en Ingeniería civil con énfasis en Ingeniería Sísmica y estructural
Ingeniero Civil
T.P. No. 031037-0543700 BLV
Contratista
Secretaría de Infraestructura y Hábitat
Gobernación del Tolima