

**EVALUACION Y DISEÑO DE LA OBRA HIDRAULICA EN EL TRAMO  
(K3+250) SOBRE EL CAUCE DE LA QUEBRADA MALACHI, DE LA VIA  
AGUA DE DIOS – NILO.**

**GUSTAVO SANDOVAL PADILLA  
EDER SIERRA LAISECA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
CENTRO REGIONAL GIRARDOT  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
GIRARDOT  
2016**

**EVALUACION Y DISEÑO DE LA OBRA HIDRAULICA EN EL TRAMO  
(K3+250) SOBRE EL CAUCE DE LA QUEBRADA MALACHI, DE LA VIA  
AGUA DE DIOS – NILO.**

**GUSTAVO SANDOVAL PADILLA  
EDER SIERRA LAISECA**

**Trabajo de grado para optar el título de Ingenieros Civiles**

**Director de Tesis  
LUIS EDGARDO GARCÍA DÍAZ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
CENTRO REGIONAL GIRARDOT  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
GIRARDOT  
2016**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Girardot, 22 enero de 2016**

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mi esposa y a mis hijos; por siempre haberme dado apoyo incondicional que me han llevado hasta donde estoy ahora. Por último a mi compañero de tesis porque en esta armonía grupal lo hemos logrado y a mi director de tesis quién nos ayudó en todo momento,

Gustavo Sandoval Padilla.

Por todas tus bendiciones y por las alegrías en mi vida te agradezco Señor. También por los desafíos que me hacen más fuerte y por la esperanza de que todo va estar mejor,

Eder Sierra Laiseca.

## **AGRADECIMIENTOS**

Es muy emotivo expresar nuestros agradecimientos a todas las personas que se han involucrado presencial y espiritualmente en la realización de este proyecto de investigación formativa, que aunque desde nuestra perspectiva, no es más que la aplicación de un conjunto de herramientas que he adquirido en el desarrollo de esta carrera.

De igual manera quiero dejar en claro, que este proyecto es la cumbre de años de estudio, endosados al esfuerzo de nuestras familias, todos los que de alguna forma creyeron en nuestro trabajo y profesionalismo.

A nuestros compañeros de estudio, hoy nuestros amigos. A los docentes, las directivas y todo el personal que labora en la Corporación Universitaria Minuto de Dios. Y sobre todo a la Universidad, aunque redunde, el universo que me rodeo, me formó y orientó para hoy tomar el curso de profesional.

## CONTENIDO

<b>CONTENIDO</b> .....	<b>6</b>
<b>LISTADO DE FIGURAS</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>15</b>
1.1 DEFINICIÓN: .....	15
1.2 FORMULACIÓN: .....	15
1.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES: .....	15
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>17</b>
<b>4. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>19</b>
4.1 MARCO CONTEXTUAL .....	19
4.2 MARCO DE ANTECEDENTES.....	20
4.3 MARCO LEGAL O NORMATIVO.....	22
4.4 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	23
<b>5. METODO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>27</b>
5.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	27
5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	27
5.3 DISEÑO METODOLOGICO.....	27
5.3.1 POBLACIÓN: .....	28
5.3.2 INSTRUMENTOS: .....	28

<b>6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....</b>	<b>29</b>
6.1 INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE.....	29
6.1.1 DRENAJE TRANSVERSAL.....	29
6.1.2. DESCRIPCIÓN DEL CAUCE DEL DRENAJE SUPERFICIAL.....	34
6.2. DISEÑO DE DRENAJE SUPERFICIAL DEL CRUCE K3+250.....	43
6.2.1. ALTERNATIVA 1. BATEAS, VADOS O BADENES.....	43
6.2.2. ALTERNATIVA 2. ALCANTARILLAS.....	44
6.2.3. CAUDAL DE DISEÑO.....	45
6.3. DISEÑO DEL CONDUCTO DE LA ALCANTARILLA.....	46
6.3.1. FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO.....	46
6.3.2. ARRASTRE DE SEDIMENTOS.....	50
6.3.3. PENDIENTE DEL CONDUCTO O TUBERÍA.....	51
6.3.4. SOCAVACIÓN EN ALCANTARILLAS.....	51
6.3.5. ALETAS, CABEZOTES Y SOLERAS.....	51
6.3.6. ESTRUCTURAS DE SALIDA.....	52
6.4. DISEÑO DE LA ALCANTARILLA CUADRADA TIPO CULVERTS.....	53
6.4.1. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL SUELO.....	53
6.4.2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.....	54
6.4.3. MATERIALES.....	54
6.4.4. DATOS DE ENTRADA:.....	55
6.4.5. GEOMETRÍA DEL BOX CULVERT.....	56
6.4.6. EVALUACIÓN DE CARGA DINÁMICA DE TRÁNSITO.....	57
6.4.7. PRESIÓN DE TIERRA ESTÁTICO (TEORÍA DE RANKINE).....	58
6.4.8. PRESIÓN LATERAL EJERCIDA POR EL TRÁNSITO.....	59

6.4.9.	PRESIÓN DE TIERRA ESTADO PSEUDO ESTÁTICO.....	61
6.4.10.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....	62
6.4.11.	CALCULO DE COEFICIENTE DE REACCIÓN DEL SUBSUELO .....	62
6.4.12.	MODELAMIENTO .....	63
6.4.13.	DIAGRAMA DE MOMENTOS Y DE CORTANTE .....	63
6.4.14.	REFUERZO DE LA ESTRUCTURA A FLEXIÓN .....	64
6.4.15.	REFUERZO ESTRUCTURAL DE MUROS .....	70
6.5.	DETALLES DEL REFUERZO ESTRUCTURAL .....	74
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>82</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>84</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>85</b>
	<b>ANEXO B .....</b>	<b>86</b>
	<b>ANEXO C .....</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXO D .....</b>	<b>88</b>

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Diseño metodológico .....	27
Figura 2. Cauce del canal aguas arriba de la alcantarilla K3+250, , Agua de Dios Cundinamarca.....	29
Figura 3. Batea de la vía terciaria en afirmado en el cruce de la alcantarilla K3+250 , Agua de Dios Cundinamarca.....	30
Figura 4. Alcantarilla de tubo doble K3+250, Agua de Dios Cundinamarca.....	31
Figura 5. Asentamiento diferencial y deterioro estructural del muro cabezal de salida, K3+250, Agua de Dios Cnd. ....	32
Figura 6. Canal de salida o descole de la alcantarilla K3+250, , Agua de Dios Cundinamarca.....	33
Figura 7. Canal de descarga de la alcantarilla K3+250, Agua de Dios Cundinamarca.....	34
Figura 8. Cauce del drenaje superficial aguas arriba K3+250, Vereda , Agua de Dios Cundinamarca. ....	35
Figura 9. Sección transversal canal de entrada a la alcantarilla K3+250, Agua de Dios , Cundinamarca .....	36
Figura 11. Sección transversal del canal de descarga, alcantarilla K3+250, Agua de Dios Cundinamarca. ....	38
Figura 12. Planta del cauce del drenaje Natural en el cruce de la Vía terciaria , Agua de Dios Cundinamarca. ....	42
Figura 13. Perfil y planta del tramo de prueba K3+250, Belén , Agua de Dios Cundinamarca.....	42
Figura 14. Bateas típicas .....	43
Figura 15. Diagrama de Energía Específica del canal K3+250, con los caudales Mínimos, máximos y normales.....	46
Figura 16. Relación de Energía específica en un descenso después de la alcantarilla.....	47

Figura 17. Elementos típicos de estructura terminal en alcantarillas: cabezote, aletas, solera y dentellón .....	52
Figura 18. Diseño geométrico de la alcantarilla cuadrada (Culverts).....	53
Figura 19. Distribución de carga de tránsito. ....	58
Figura 20. Diagrama de momentos, modelado del programa Etabs.....	63
Figura 21. Diagrama de cortante .....	64
Figura 22. Diagrama de momentos, cortante y deflexión viga superior .....	68
Figura 23. Diagrama de momentos, cortante y deflexión viga superior .....	69
Figura 24. Diagrama de momentos en los muros. ....	70

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Elementos geométricos de la sección del canal de entrada .....	36
Tabla 2. Elementos geométricos de la sección del canal de salida .....	38
Tabla 3. Coeficiente de rugosidad de Manning, n.....	39
Tabla 4. Valores de velocidad, caudal y Número de Froude de la sección de control.....	40
Tabla 5. Valores mínimos y máximos de velocidad, caudal unitario y Número de Froude de descarga.....	41
Tabla 6. Caudal unitario del canal de entrada a la alcantarilla K3+250, Agua de Dios Cundinamarca. ....	45
Tabla 7. Elementos del descenso después de la alcantarilla.....	48
Tabla 8. Flujo en alcantarilla Tipo A.....	48
Tabla 9. Calculo de la pendiente crítica, para realizar flujo crítico .....	49
Tabla 10. Velocidad dentro de la alcantarilla .....	49
Tabla 11. Datos de Entrada para cálculo Estructural del Box Culvert, K3+250 .....	55
Tabla 12. Condiciones Sísmicas del Terreno .....	55
Tabla 13. Geometría del Box Culvert.....	56
Tabla 14. Factor de impacto del tráfico vehicular.....	57
Tabla 15. Distribución de Presión Activa .....	58
Tabla 16. Presión Lateral ejercida por el tránsito.....	60
Tabla 17. Distribución de presión lateral.....	60
Tabla 18. Carga generada por el peso propio del Box Culvert .....	61
Tabla 19. Refuerzo longitudinal para las esquinas .....	64
Tabla 20. Reforzamiento de elementos diseñados a flexión.....	69

## GLOSARIO

**Alcantarilla rectangular:** Tubo o canal de hormigón armado de sección transversal rectangular.

**Canal:** Construcción destinada al transporte de fluidos generalmente utilizada para agua y que, a diferencia de las tuberías, es abierta a la atmósfera.

**Drenaje superficial:** Dispositivo diseñado para la recepción, canalización y evacuación de las aguas que puedan afectar directamente a las características funcionales de cualquier elemento integrante de la carretera.

**Hidrología:** Ciencia que estudia el agua en general, sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. Así como las formas y regímenes que ésta presenta en la naturaleza.

**Pavimento:** Capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos.

**Profundidad crítica:** Profundidad en la cual un determinado caudal transita por un canal con el mínimo de energía específica.

**Socavación:** Se denomina socavación a la excavación profunda causada por el agua, uno de los tipos de erosión hídrica. Puede deberse al embate de las olas contra un acantilado, a los remolinos del agua, especialmente allí donde encuentra algún obstáculo la corriente, y al roce con las márgenes de las corrientes que han sido desviadas por los lechos sinuosos.

## **RESUMEN**

Este documento describe un proyecto como opción de grado del programa de ingeniería civil, desarrollado desde una perspectiva académica y social. El origen de la problemática a solucionar se da por una petición a la alcaldía municipal de Agua de Dios realizada por una familia que reside en zona rural, sobre los linderos del cauce de la quebrada MALACHÍ, en el cruce de la carretera terciaria que comunica los municipios de Agua de Dios y Nilo. Este drenaje superficial ha provocado socavación en el predio y amenaza con destruir su vivienda en época de lluvia. El informe comprende la evaluación de la estructura de drenaje existente en la vía terciaria, justo en el tramo del cruce con la quebrada MALACHÍ; un reconocimiento topográfico, y geométrico del cauce, estudios de alternativas de construcción, el diseño de la alcantarilla, tanto hidráulico como estructural, y los detalles de despieces constructivos.

## **ABSTRACTY**

This document describes a project as choice grade civil engineering program, developed from an academic and social perspective. The origin of the problem to solve is given by a petition to the municipal government of Agua de Dios by a family who lives in a rural area on the edge of the runway MALACHÍ broken at the intersection of tertiary road between the municipalities of Agua de Dios and Nile. This has led to scour surface drainage at the site and threatened to destroy their homes during the rainy season. The report includes an assessment of the structure of existing drainage in tertiary just on the stretch of road junction with broken MALACHÍ; topographical and geometric recognition of the channel, studies of alternative construction, the design of the sewer, both hydraulic and structural, and details of construction exploded .

## INTRODUCCIÓN

El drenaje de pavimentos es esencial para mantener un buen nivel de servicio y seguridad en el tráfico. Este requiere de la consideración del factor topográfico, los factores hidrológicos y los factores geotécnicos<sup>1</sup>. Existe la posibilidad de que se desarrollen películas de agua muy gruesas sobre la superficie del pavimento en instantes de lluvia. Estas películas generan hidropneumático, encharcamientos y salpicaduras excesivas.

Existen modelos que predicen, a partir de la condición superficial del pavimento y de la intensidad de la lluvia, la velocidad vehicular a la cual se produce hidropneumático, la cual se debe comparar con la velocidad de operación de la carretera.

En el caso de la construcción, reparación y rehabilitación de vías terciarias en nuestro país; donde, el flujo vehicular es muy poco; este diseño de drenaje superficial, se limita a condiciones mínimas y presupuestos muy bajos. Sin embargo, son precisamente las tragedias de deslizamientos, inundaciones y avalanchas, las más frecuentes en este tipo de vías.

Este proyecto de grado, presenta un modelo de diseño de drenaje superficial en la vía terciaria que comunica los municipios de Agua de Dios y Nilo, en el departamento de Cundinamarca; en el punto donde la carretera intercepta la quebrada MALACHÍ, referenciada por levantamiento topográfico como K3+250.

La quebrada MALACHÍ es una corriente de agua que a la fecha solo presenta flujo en época de lluvia, pero en época de sequía o verano, no presenta un caudal superficial.

---

<sup>1</sup> SANCHEZ SABOGAL, FERNANDO. Consideraciones sobre el drenaje en los pavimentos. Módulo 5. Octubre 11 de 2010. Escuela de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá Colombia.

## **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 DEFINICIÓN:**

Conforme al levantamiento realizado en el mes de junio del año 2015 en la carretera que comunica los municipios de Agua de Dios y Nilo, en el departamento de Cundinamarca; la abscisa K3+250, corresponde a la intersección de la vía terciaria con la quebrada MALACHÍ. A la misma fecha, reposa en la Alcaldía del municipio de Agua de Dios, un derecho de petición de la familia Rodríguez Méndez, informando que: “cada vez que llueve, la quebrada amenaza con llevarse el terreno y la casa donde viven”<sup>2</sup>.

Conforme a la visita realizada en el lugar, se evidenció una alcantarilla doble de tubería redonda en concreto de 22 pulgadas de diámetro, totalmente colmatada. Se demarca una zona de socavación en el perímetro del predio de la familia Narváez Sosa. El pavimento corresponde a una capa de 15 centímetros de afirmado, sin cunetas.

### **1.2 FORMULACIÓN:**

¿Cuál es la estructura de drenaje para la intersección de la quebrada MALACHÍ (k3+250) en la vía terciaria que comunica los municipios de Agua de Dios y Nilo, que estabilice y garantice que el flujo de la quebrada no causará daños de socavación y tenga la capacidad suficiente para evacuar el caudal de la quebrada?

### **1.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES:**

Independiente: Estructura de drenaje.

Dependiente: factores topográfico, hidrológicos, geotécnicos y tráfico vehicular.

---

<sup>2</sup> NOHORA MENDEZ DE RODRIGUEZ, Derecho de petición, Alcaldía municipal de Agua de Dios, Cundinamarca.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Establecer una solución técnica basada en la normatividad colombiana, al problema de escorrentía de aguas superficiales en el tramo señalado como K3+250 de la vía terciaria que comunica los municipios de Agua de Dios y Nilo Cundinamarca, con el propósito de mantener la funcionalidad de la infraestructura vial en épocas de lluvias.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a)** Realizar la inspección visual de la estructura de drenaje vial en el tramo identificado como K3+250 de la vía terciaria que comunica los municipios de Agua de Dios con Nilo, Cundinamarca.
- b)** Realizar el diseño del drenaje superficial del cruce del arroyo en la vía terciaria referenciada como K3+250, conforme a los parámetros establecidos en el Manual de Diseño de drenajes de Instituto Nacional INVIAS, publicada en el año 2011.
- c)** Realizar el diseño del conducto de la alcantarilla, conforme a su funcionamiento hidráulico, arrastre de sedimentos, socavación y estructuras de entrada y salida.
- d)** Realizar el estudio de suelos en el punto referenciado como K3+250 de la vía terciaria que comunica los municipios de Agua de Dios y Nilo, Cundinamarca.
- e)** Realizar el diseño estructural de la alcantarilla cuadrada tipo Culvert, conforme al Reglamento de Diseño de puentes modificado en el año 2014.
- f)** Realizar los planos constructivos y presupuesto de la construcción del drenaje superficial en el K3+250.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La carretera que comunica el municipio de Agua de Dios, con el municipio de Nilo, es una vía terciaria, que ha sido reparada y mantenida con una capa de pavimento conformado en afirmado. Solo un tramo del municipio de Agua de Dios, a través de un contrato adjudicado por el INVIAS, fue rehabilitado con placa huella, en el año 2014.

Esta carretera está bañada por la hoya hidrográfica, del cual no existen registros de período de retorno, intensidad y duración máxima de lluvias.

La carretera es atravesada por la quebrada, en un punto referenciado como K3+250, de acuerdo a levantamiento topográfico realizado, para el presente trabajo de grado.

En este cruce actualmente existe una alcantarilla doble colmatada, que para la fecha de la visita, no se encuentra en funcionamiento.

Seguido al descole de la alcantarilla habita una familia en el predio (aguas debajo de la alcantarilla) que ha presentado sin número de derechos de petición, reclamos y denuncias, acerca del desbordamiento de la quebrada, en este punto y que a la fecha de la visita está completamente seca, pero presenta evidencia de socavación, que ha ido desestabilizando el terreno de la vivienda de dicha familia.

El informe, comprende la descripción del cauce del drenaje superficial, que es el mismo cauce de la quebrada MALACHÍ, pero en condiciones secas. De igual manera, la inspección visual de la estructura de drenaje actual.

Seguidamente se plantea la aplicación de las dos soluciones planteadas por el Manual de Drenaje Superficial del INVIAS-2011; la batea, y los problemas de su aplicación en este caso, y la alcantarilla cuadrada.

Finalmente, se realiza un estudio de la subrasante, el material de relleno que ese encuentra en la zona de estudio; y finalmente se realiza el cálculo estructural conforme a las solicitaciones del Código Nacional de Puentes, 2014.

El informe final, presenta el reporte de resultados, memoria de cálculo, y juego de planos constructivos y presupuesto.

## **4. MARCO DE REFERENCIA**

### **4.1 MARCO CONTEXTUAL**

La geografía de los municipios de Agua de Dios y Nilo en el departamento de Cundinamarca cuenta con una hoya hidrográfica que nace en el cerro del Volador y que alcanza a una altura de 1200 metros sobre el nivel del mar. Éste es cortado verticalmente por la quebrada La Porquera, el cual forma la cascada de más de 100 metros, convirtiendo el sitio en un lugar turístico. También se encuentran los cerros del Toboso, La Popa, y la Vieja, no tan escarpados como los anteriores, pero importantes porque allí se inicia la hoya del río Pagüey.

La zona rural de estos municipios, está ubicada en la cordillera de Chicui (1400 m.s.n.m.), que marca límites con los municipios de Viotá y Tocaima, y más hacia el Occidente va perdiendo altura y toma el nombre de Piringallo y va a morir cerca de la confluencia del río Pagüey y la quebrada Malachi. Por otro lado, la cuenca del río Pagüey ocupa la región central del Municipio y allí aparecen onduladas cuya altura oscila entre los 350 y los 1000 m.s.n.m. Esta región está enmarcada por las serranías de Chicui y Piringallo al norte y por los cerros del Volador, San Bartolo y la denominada Mesa de Limones al sur.

La carretera que comunica a los municipios Agua de Dios y Nilo, corresponde a una vía terciaria de poco flujo vehicular. Construida en afirmado, con algunas obras de drenaje, como cunetas, alcantarillas y disipadores que evacuan el agua a la quebrada MALACHÍ. Este tipo de vía, en nuestro país cuenta con poco presupuesto para su mantenimiento, pero si se tiene en cuenta que está bañada por la quebrada MALACHÍ, amerita un manejo ambiental especial y un sistema de drenaje vial es indispensable para su correcto funcionamiento.

## **4.2 MARCO DE ANTECEDENTES**

En Colombia, el deficiente sistema administrativo estatal, no contempla el verdadero costo del manejo de drenaje superficial. De igual manera, aunque existe la normatividad adecuada, la imprudencia de los habitantes no mide las consecuencias de construir en las riveras de quebradas, arroyos o ríos, que durante el 50% del año su cauce puede estar completamente seco. Pero en épocas de lluvias, las consecuencias llegan a ser devastadoras.

El 12 de febrero de 2005, una creciente del Río de Oro, causada por las lluvias, afectó al municipio de Girón (Santander). El desastre le quitó la vida a 27 personas. Tras la catástrofe, 2.056 familias, tuvieron que ser reubicadas.

El 6 de junio de 1994, un temblor provocó el desprendimiento de un bloque de hielo del Nevado del Huila, que alimentó varios ríos, entre ellos el Páez. La tragedia tocó a los departamentos de Cauca y Huila, esta catástrofe dejó cerca de 1.100 muertos.

El 19 de abril de 2011, el desbordamiento de la quebrada Negra afectó el 90 % de Útica (Cundinamarca). La alarma de las autoridades evitó un gran número de víctimas mortales, que fueron solo dos. Los damnificados fueron más de 1.000.

El 8 de junio de 1991, una avalancha proveniente de la quebrada La Arboleda desencadenó el crecimiento del Río Cauca, que golpeó fuertemente el corregimiento de Farallones, del municipio Ciudad Bolívar (Antioquia). Los muertos llegaron a 31.

El 21 de septiembre de 1990, el río San Carlos se desbordó y causó 1.200 damnificados en el municipio del mismo nombre, a 119 kilómetros de Medellín y ocasionó daños en la Central Hidroeléctrica de Calderas.

Y el más reciente, es el caso de del desbordamiento de la quebrada en Salgar, Antioquia; el 18 de mayo de 2015. El periódico el tiempo, en su publicación del 20 de mayo del mismo año, registró que en varios documentos que reposaban en la Alcaldía de Salgar (Antioquia) estaba consignado el riesgo de que una tragedia, como la que se vivió, se aprovechara de las condiciones de vulnerabilidad de este municipio de cafeteros.

El diagnóstico aparece consignado en un estudio hidrográfico, otro más del INGEOMINAS<sup>3</sup> y en su propio Plan de Desarrollo, que afirmaba que: “Una lluvia fuerte que se produzca en la parte alta de la cuenca (de la quebrada Liboriana) podrá generar una creciente que estaría afectando el área urbana con su máxima intensidad antes de 1 hora y 45 minutos”.

Y eso fue exactamente lo que ocurrió, según cuentan los propios pobladores. Entre las 2 y 3 de la madrugada del lunes 20 de mayo, se registró un fuerte aguacero que aumentó el caudal a quebrada La Plateada, hoy La Liboriana, que en 1894 cambió de nombre en honor a Liborio Restrepo, quien diseñó parte de Salgar. El reporte oficial daba cuenta de 78 muertos. Los estudios de riesgo –a disposición de autoridades locales y nacionales– advierten que toda el área urbana de Salgar está en peligro.

“En el área urbana, las inundaciones y las avenidas torrenciales son los fenómenos naturales que presentan mayor probabilidad de ocurrencia, debido, por

---

<sup>3</sup> Instituto Colombiano de Geología y minería, disponible en [www.ingegominas.gov.co](http://www.ingegominas.gov.co)

un lado, a la alta torrencialidad que caracteriza a La Liboriana (factor de amenaza) y por el otro, a la invasión de su cauce y llanura de inundación por edificaciones, siendo esta una práctica tan cotidiana que alrededor de la tercera parte de las viviendas urbanas están asentadas aquí”, señala uno de los estudios.

La Corporación Autónoma de Antioquia (Corantioquia) admitió que este tipo de tragedias no son exclusivas de Salgar. Según Alejandro González, director de la corporación, se estima que el 60% de la población de Antioquia está asentada en zonas de riesgo. Y según la Defensoría del Pueblo, municipios como Urrao ya están bajo amenaza.

En esa población vecina de Salgar se creció la quebrada Isabela y, aunque no se han reportado ni muertos ni lesionados, la creciente destruyó 16 puentes peatonales y derrumbó la bancada de la carretera que comunica a la vereda Santa Isabel con el resto de municipios.

#### **4.3 MARCO LEGAL O NORMATIVO**

Actualmente, existe el manual de drenaje para carreteras, elaborado en diciembre de 2009, y publicado en el año 2011, por el Instituto Nacional de Vías. Donde se registran los conceptos básicos de diseño de obras de arte, drenaje y alcantarillado.

El propósito del manual es proveer guías para el planeamiento y el diseño de los dispositivos hidráulicos relacionados con la infraestructura de transporte terrestre a cargo del Instituto Nacional de Vías. El manual incluye aspectos relacionados con la hidrología, el drenaje superficial y subsuperficial y la socavación, mediante los cuales se pretende contribuir en la generación de una condición de circulación

cómoda y segura para los usuarios, así como proteger las carreteras nacionales contra el efecto adverso de las aguas superficiales y subterráneas.

El estudio de la subrasante, rellenos, afirmado, sub base granular y base granular está regulado por las Especificaciones Generales de Construcción de carreteras, La Dirección General, la Secretaría General Técnica y la Subdirección de Apoyo Técnico del Instituto Nacional de Vías, conscientes de la necesidad de mantenerlas actualizadas, publicó su última edición el 15 de agosto de 2007. Dadas las continuas innovaciones en los equipos de construcción, los acelerados cambios tecnológicos, las exigencias cada vez más severas en relación con la protección ambiental y los cambios que puedan ocurrir en la legislación sobre la contratación.

La carga de diseño de alcantarillas, pontones y elementos de concreto reforzado, deben cumplir con las solicitaciones de carga establecidos por el código Colombiano de Puentes. El INVÍAS, a través de la Dirección Técnica, desarrolló la nueva Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14) en el año 2014, con la cual se actualiza -después de 18 años- el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCP 95) de 1995. La actualización del documento técnico se realizó en conjunto con la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, con el fin de que estos parámetros respondan a los cambios existentes en las cargas que circulan hoy por las carreteras y puentes del país.

#### **4.4 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

La hoya hidrográfica es el ente físico natural de todo cálculo en hidrología. Se define como un área limitada topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple, localizada en el punto más bajo de la misma. El límite

topográfico es la divisoria, la cual se define como la línea que separa las precipitaciones que caen en hoyas inmediatamente vecinas, y que encaminan la escorrentía resultante para uno u otro sistema fluvial. Las características físicas más importantes de las hoyas hidrográficas son las siguientes:

a) Área de drenaje. Es el área plana (proyección horizontal) incluida entre subdivisoria topográfica.

b) Forma de la hoya. Esta característica es importante, pues se relaciona con la capacidad de concentración del caudal pico de una creciente. En hoyas circulares esta concentración es mayor, mientras que en hoyas alargadas es menor.

c) Sistema de drenaje. Este parámetro indica la cantidad de los cursos de agua en la hoya y se identifica con la densidad de drenaje, definida esta última como la longitud total de los cursos de agua dentro de la hoya entre el área de drenaje de la misma. Una hoya con buen sistema de drenaje tiende a producir un mayor caudal pico de escorrentía superficial.

d) Pendiente de la hoya. Determina, de manera indirecta, la capacidad de concentración del agua y la producción de caudales pico de escorrentía superficial altos en la hoya. Una hoya con alta pendiente es propensa a la producción de altos y rápidos caudales pico. Este parámetro se puede calcular por medio de la curva de distribución de pendientes de la hoya.

e) Pendiente del cauce principal. Dado que el cauce principal es el desagüe de la hoya, este parámetro también determina la rapidez de producción del caudal pico de escorrentía superficial y la capacidad de concentración de la referida descarga.

Para evaluar este parámetro existen dos metodologías. La primera se relaciona con la pendiente total del cauce principal, y es igual a la diferencia entre las cotas mayor y menor del cauce sobre la longitud total del mismo. La segunda se define como la pendiente media ponderada del cauce principal; para ello, en primer

término, se debe trazar el perfil longitudinal de la corriente, y luego, haciendo base en la cota menor del referido perfil, se calcula un triángulo que tenga la misma área geométrica del mencionado perfil longitudinal. La diferencia de cotas del triángulo resultante, dividida por la longitud del cauce, es igual a dicha pendiente. El valor de esta pendiente representa mejor las características reales de la pendiente promedio del cauce principal.

f) Tiempo de concentración. Se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la hoya contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de la misma.

La escorrentía superficial en problemas de drenaje, y particularmente en problemas de drenaje vial, parte del hecho desde el punto de vista conservador de que las cuencas hidrográficas se encuentran húmedas cuando acontece el aguacero de diseño, de tal manera que la intercepción y la detención superficial ya han sido copadas por lluvias previas, y el único elemento que descuenta agua de la precipitación es el proceso de infiltración.

Tampoco se tienen en cuenta los fenómenos de evaporación y transpiración de las plantas debido a que, en general, las lluvias intensas que producen grandes caudales pico para diseño de obras de drenaje son de muy corta duración (horas), y los referidos fenómenos en estos eventos son muy pequeños. Tampoco es usualmente tenido en cuenta el fenómeno de escorrentía subterránea afluente a los cauces durante y después del aguacero de diseño, pues éste es un fenómeno de movimiento del agua en un medio poroso (suelo), que usualmente es pequeño en comparación con la escorrentía superficial producida por la hoya hidrográfica.

Aparte del efecto adverso que puede tener el agua sobre el comportamiento de un pavimento, su presencia en la superficie genera problemas de seguridad a los usuarios, consistentes en la disminución de la visibilidad y en la posibilidad de que se produzca hidroplaneo.

La lluvia altera sustancialmente el ambiente visual de los conductores, en especial en horas de la noche, ya que disminuye la visibilidad debido a sus efectos adversos sobre los faroles de los vehículos, los parabrisas, el pavimento y la señalización horizontal. La lluvia desmejora la eficiencia de los faroles delanteros y de las demás fuentes de iluminación externa de los vehículos, por cuanto filtra parte de su poder luminoso reduciendo la iluminancia sobre la carretera enfrente de ellos.

Así mismo, limita la capacidad del conductor para ver a través del parabrisas y disminuye la cantidad de luz retrorreflejada hacia el vehículo por la superficie de la carretera. Además, la película de agua que se forma sobre el pavimento propicia salpicaduras por los neumáticos de los vehículos en circulación, vuelve casi invisibles los dispositivos de señalización horizontal y hace que el pavimento parezca más oscuro que bajo condición seca.

El hidroplaneo, por su parte, es un fenómeno que ocurre cuando una lámina continua de agua queda involucrada en la interacción entre los neumáticos y el pavimento, a causa de la cual se reduce la cantidad de fricción disponible, produciendo el deslizamiento incontrolado del vehículo sobre la superficie húmeda.

## 5. METODO DE INVESTIGACIÓN

### 5.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Línea 4. Gestión, participación y desarrollo comunitario

Línea Sede Cundinamarca 8. Construcción Sostenible

Sub Línea de investigación Centro Regional Girardot. Desarrollo Económico Local y Regional.

Sub Línea del Programa de Ingeniería Civil Girardot. Infraestructura Vial

### 5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto de grado, está desarrollado por la metodología formativa. Esta metodología consiste en una función pedagógica que busca formar en la investigación a través de actividades propias de la investigación, pero que no pretenden lograr resultados científicos sino construcción u organización de conocimiento ya existente.

### 5.3 DISEÑO METODOLOGICO

Figura 1. Diseño metodológico



Fuente: propia

### 5.3.1 POBLACIÓN:

Tramo de vía terciaria referenciado como K3+250, de la carretera que comunica los municipios de Agua de Dios con Nilo Cundinamarca.

### 5.3.2 INSTRUMENTOS:

Se requiere para este estudio, equipo de medición y topografía, manuales de diseño de drenajes, Manuales de diseño hidráulico y estructural. La información que se requiere es la geometría del canal de la quebrada MALACHÍ en el cruce de la carretera en el K3+250, caudales, vehículo de diseño, características del suelo, para esto se utilizarán instrumentos de medición, como estación topográfica, laboratorio de suelos y programas de computación especializados como AutoCAD para dibujar y Etabs para modelar estructuras de concreto.

## 6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

### 6.1 INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE

#### 6.1.1 DRENAJE TRANSVERSAL

##### **Alcantarilla K3+250 Vía Terciaria Agua de Dios-Nilo**

Las alcantarillas son estructuras de evacuación de las aguas de escorrentía y su función es la de drenar corrientes de agua permanentes o estacionales.

Las partes de la alcantarilla que se evaluaron son:

- a) **Encole:** Estructura que permite reducir la velocidad y disipar la energía de los flujos de agua a la entrada de las obras de drenaje, y así entregar de manera segura el agua a la tubería de la alcantarilla.

**Figura 2. Cauce del canal aguas arriba de la alcantarilla K3+250, , Agua de Dios Cundinamarca.**



Fuente: propia, 27 de junio de 2015

No presenta estructuras de encole, la reducción de la energía se realiza de manera natural a través de una curva propia de su cauce aguas arriba de la alcantarilla, que presenta una pendiente del 3% en promedio.

**b) Estructura de entrada:** Se refiere a todas las obras construidas con el fin de conducir el flujo hacia la tubería y de estabilizar el terraplén de la vía.

**Figura 3. Batea de la vía terciaria en afirmado en el cruce de la alcantarilla K3+250 , Agua de Dios Cundinamarca**



Fuente: propia, 27 de junio de 2015

No existen aletas, solados, ni muros cabezales. La entrada a la alcantarilla está cubierta por una espesa capa de sedimento (arena fina mal graduada), y plantas secas, troncos de árboles con tallos menores a 20 cm. Los arbustos solo crecen a los costados del cauce. No se evidencia la alcantarilla vista desde aguas arriba de la quebrada.

c) **Tubería:** Tiene como fin garantizar la conducción del flujo de un lado al otro de la vía, evitando infiltraciones que puedan afectar los materiales que componen la estructura del pavimento.

**Figura 4. Alcantarilla de tubo doble K3+250, Agua de Dios Cundinamarca.**



Fuente: propia, 27 de junio de 2015

Es una alcantarilla doble, construida en tubería de concreto, las dos presentan un diámetro interno de 20 pulgadas. Por la entrada, está completamente cubierta por arena (no se evidencia en la superficie muro cabezal ni tubería en funcionamiento). Aguas abajo está obstruida parcialmente la salida por acumulación de sedimentos.

g) **Estructura de salida:** Se refiere a todas las obras construidas con el fin de entregar el flujo hacia el descole o sitio de vertimiento de aguas y de estabilizar las zonas aledañas.

**Figura 5. Asentamiento diferencial y deterioro estructural del muro cabezal de salida, K3+250, Agua de Dios**



Fuente: propia, 27 de junio de 2015

Comprende un muro cabezal de concreto de 15 cm de espesor, en estado de deterioro severo, presenta grietas de 30 cm de longitud, asentamiento diferencial de 20 cm, y desprendimiento por colapso de la estructura. No se evidencia socavación, por el contrario se evidencia acumulación de sedimento.

**h) Descole:** Es una estructura diseñada para reducir la velocidad y disipar la energía de los flujos de agua en la salida de obras de drenaje y así entregar de manera segura el agua a canales naturales u otros canales no erosionables.

**Figura 6. Canal de salida o descole de la alcantarilla K3+250, , Agua de Dios Cundinamarca.**



Fuente: propia, 27 de junio de 2015

No existen elementos de descole. La zona de descarga está compuesta por sedimento de rocas con diámetros entre los 40 cm y 120 cm. Trocos de árboles secos, hojas y ramas grandes de árboles secos.

Presenta una curva donde se evidencia una profundidad hidráulica de hasta 2.40 m, por el costado derecho, y de 1.80 m por el costado izquierdo.

**Figura 7. Canal de descarga de la alcantarilla K3+250, Agua de Dios Cundinamarca.**



Fuente: propia, 27 de junio de 2015

#### 6.1.2. DESCRIPCIÓN DEL CAUCE DEL DRENAJE SUPERFICIAL

La vía en estudio se encuentra ubicada en la vereda Belén, del municipio de Agua de Dios, Cundinamarca, y forma parte de las vías terciarias del municipio. El mejoramiento de la estructura del pavimento comprende un espesor de afirmado el mantenimiento y mejoramiento de las obras de drenaje de la misma.

El drenaje superficial que estamos analizando cruza esta vía terciaria en afirmado en la abscisa K3+250.

El cauce evidencia un flujo gradualmente variado, con una energía específica suficiente para mover rocas de hasta 1.20 de diámetro, troncos de gran magnitud y generar socavación en arenas y limos.

**Figura 8. Cauce del drenaje superficial aguas arriba K3+250, Vereda, Agua de Dios Cundinamarca.**



Fuente: propia, 27 de junio de 2015

La geometría del canal natural aguas arriba del cruce con la vía terciaria corresponde a un trapecio, donde la profundidad hidráulica máxima en promedio es de un metro.

Es necesario aclarar que durante la visita al sitio, solo se evidencio flujo de agua aguas abajo de la alcantarilla, proveniente de una corriente subsuperficial. Los registros de cauces y profundidades hidráulicas se midieron por huellas y rastros de socavación, erosión y marca en la vegetación por arrastre.

**Figura 9. Sección transversal canal de entrada a la alcantarilla K3+250, Agua de Dios , Cundinamarca**



Fuente: propia, 27 de junio de 2015

En este punto, a la entrada de la alcantarilla el cauce se disminuye la profundidad hidráulica, disminuye el gradiente hidráulico hasta 0.03. En el cauce se evidencian sedimentos finos (arena).

Para efectos del diseño, llamaremos al tramo de entrada, es decir aguas arriba sección 1.

**Tabla 1. Elementos geométricos de la sección del canal de entrada**

	Sección 1
y1	0.90 m
y2	1.07 m
b	4.43 m
T	4.40 m

Fuente: Propia, mediciones realizadas el 27 de junio de 2015

Donde, “y” es la profundidad hidráulica, “b” es la base del canal y “T” es el ancho superficial del canal de entrada (aguas arriba).

$$\begin{array}{l} \text{Gradiente o} \\ \text{Pendiente del} \\ \text{terreno} \end{array} \quad S_o = \frac{0.65}{23.00} \quad 3\%$$

$$\begin{array}{l} \text{Perímetro de} \\ \text{la sección 1} = \end{array} \quad \underline{6.40 \text{ m}} \quad \begin{array}{l} \text{Área de la} \\ \text{Sección 1} = \end{array} \quad \underline{4.33 \text{ m}} \quad \begin{array}{l} \text{Radio} \\ \text{Hidráulico} = \end{array} \quad \underline{0.68 \text{ m}}$$

La geometría del canal aguas abajo de la alcantarilla presenta un cambio de la profundidad hidráulica, seguido va una curva que genera una socavación en la ladera derecha, donde existe actualmente una vivienda campestre. Los habitantes de la vivienda, señalaron el nivel máximo del flujo del canal. Así mismo afirman que este nivel llega a su punto máximo cada vez que llueve en la zona. Presenta un depósito aluvial con abundantes rocas de tamaños entre 0.30 y 1.20 m de diámetro, troncos de árboles secos. Erosión por socavación, en material limo arenoso, las raíces de los árboles del perímetro del cauce, presentan raíces expuestas, y el flujo que se evidencia no supera los 10 cm de profundidad.

La sección transversal del canal corresponde a un trapecio, el flujo es rápidamente variado, con la energía específica suficiente para arrastrar rocas grandes.

Un flujo rápidamente variado es un flujo cuya no uniformidad obedece a grandes aceleraciones o desaceleraciones en tramos cortos, por lo que no se puede asumir presión hidrostática, lo que unido a posible separación del flujo y remolinos dificulta su análisis teórico y favorece su investigación experimental, estableciendo relaciones empíricas para aplicaciones específicas de diseño. Dentro de los fenómenos con flujo rápidamente variado de interés para el drenaje vial, se encuentran el resalto hidráulico y los disipadores de energía.

**Figura 10. Sección transversal del canal de descarga, alcantarilla K3+250, Agua de Dios Cundinamarca.**



Fuente: propia, 27 de junio de 2015

**Tabla 2. Elementos geométricos de la sección del canal de salida**

Sección 2	
y1	1.80 m
y2	2.40 m
b	10.02 m
T	10.00 m

Fuente: Mediciones realizadas el 27 de junio de 2015

$$\frac{\text{Perímetro de la sección 2}}{2} = \frac{\text{Área de la Sección}}{2} \cdot \frac{\text{Radio Hidráulico}}{2}$$

$$= \frac{14.22 \text{ m}}{2} = \frac{21.00 \text{ m}}{2} \cdot \frac{1.48 \text{ m}}{2}$$

Donde, “y” es la profundidad hidráulica, “b” es la base del canal y “T” es el ancho superficial del canal de salida (aguas abajo).

Conforme a los parámetros establecidos en el manual de diseño de drenajes, del Instituto Nacional de Vías, versión 2009; y de acuerdo a las condiciones del sitio, el canal se encuentra dentro de la categoría de: “Corrientes montañosas, sin vegetación en la base del canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos, fondo: cantos rodados con rocas grandes.” Por lo que el coeficiente de rugosidad Manning, está dentro de estos límites.

**Tabla 3. Coeficiente de rugosidad de Manning, n**

Mínimo	Normal	Máximo
0.04	0.05	0.06

Fuente: Robert E. Horton, Some better Hutter’s formula coefficients, Vol 75 No.8, febrero 24 de 1916.

Una sección de control es aquella sección donde se presenta una relación definida y única entre el caudal y la profundidad del agua. Para este caso en particular se aplicará el tercer tipo de control recomendado en el Manual de drenaje para carreteras<sup>4</sup>, cuando no se presenta secciones artificiales (vertederos, o tubos en funcionamiento) en el tramo del canal, es el de la profundidad normal, en el cual la

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Vías, Manual de Drenaje para carreteras, 2009

altura y el caudal se relacionan a través de una expresión como la de Manning. En un tramo de canal hidráulicamente largo, la localización más probable de este control es en el extremo aguas arriba para flujos con régimen subcrítico y en el extremo aguas abajo para flujos con régimen supercrítico.

Se tomó como sección de control 20.0 metros del tramo de entrada, donde la sección evidencia un flujo uniforme permanente, ya que el depósito corresponde a un tamaño de sedimento parejo (arena con diámetros menores a 4mm). Luego de realizar las mediciones se aplicó la teoría de Manning, para determinar el caudal de entrada.

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Ecuación de Manning, Estocolmo 1933.

**Tabla 4. Valores de velocidad, caudal y Número de Froude de la sección de control**

Coeficiente de rugosidad n:		Mínimo	Normal	Máximo
		0.04	0.05	0.06
Velocidad Manning	v1=	4.83 m/s	3.86 m/s	3.22 m/s
Caudal de entrada	Q=	20.92 m <sup>3</sup> /s	16.74 m <sup>3</sup> /s	13.95 m <sup>3</sup> /s
Caudal unitario:	q1=	4.76 m <sup>3</sup> /s	3.80 m <sup>3</sup> /s	3.17 m <sup>3</sup> /s
N. Froude	Fr=	1.55	1.24	1.04

Fuente: propia, con información externa

Conforme a estos resultados, evidencia un flujo supercrítico, de lámina no superior a un metro de profundidad hidráulica, con una velocidad entre 3 y 5 m/s.

De la misma manera por continuidad, se determinó la velocidad de descarga, teniendo en cuenta que la sección del canal cambia drásticamente.

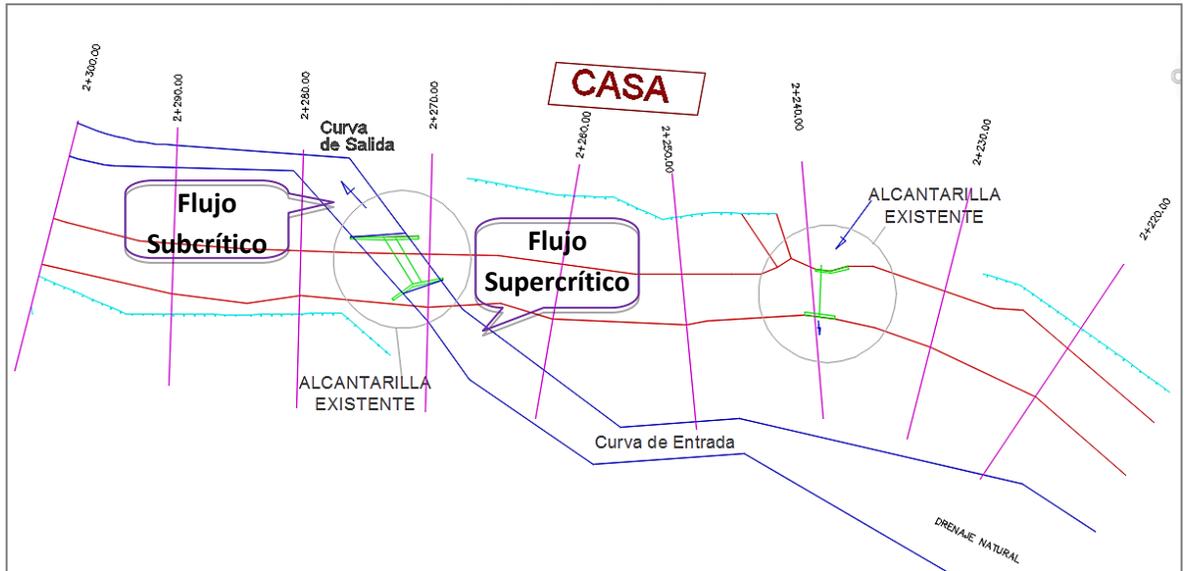
**Tabla 5. Valores mínimos y máximos de velocidad, caudal unitario y Número de Froude de descarga**

		Mínimo	Normal	Máximo
Velocidad Continuidad	$v_2 =$	2.26 m <sup>3</sup> /s	1.81 m <sup>3</sup> /s	1.51 m <sup>3</sup> /s
Caudal unitario:	$q_2 =$	4.76 m <sup>3</sup> /s	3.80 m <sup>3</sup> /s	3.17 m <sup>3</sup> /s
N. Froude	$Fr =$	0.50	0.40	0.33

Fuente: propia, con información externa

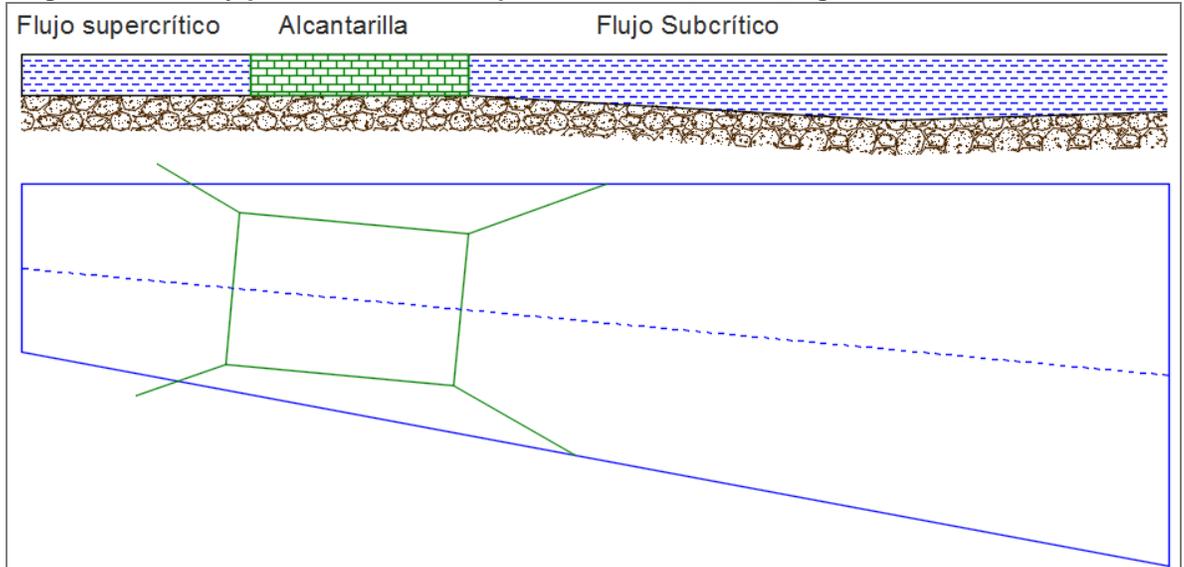
De esta manera, se evidencia un flujo subcrítico de muy baja velocidad, con la suficiente presión para socavar y mover piedras y troncos de gran tamaño; capaz de colapsar una estructura de salida o descole. Dentro de la geometría del cauce del canal natural, cabe la posibilidad que la curva después de la descarga, donde se reduce el cauce, genere un resalto hidráulico que altere el flujo a subcrítico.

**Figura 11. Planta del cauce del drenaje Natural en el cruce de la Vía terciaria , Agua de Dios Cundinamarca.**



Fuente: Jaidier Cortés, Obras de arte construidas en la Vía Belén , Agua de Dios Cnd. Mayo 2015.

**Figura 12. Perfil y planta del tramo de prueba K3+250, Belén , Agua de Dios Cundinamarca**



Fuente: propia con información externa, junio 2015.

## 6.2. DISEÑO DE DRENAJE SUPERFICIAL DEL CRUCE K3+250

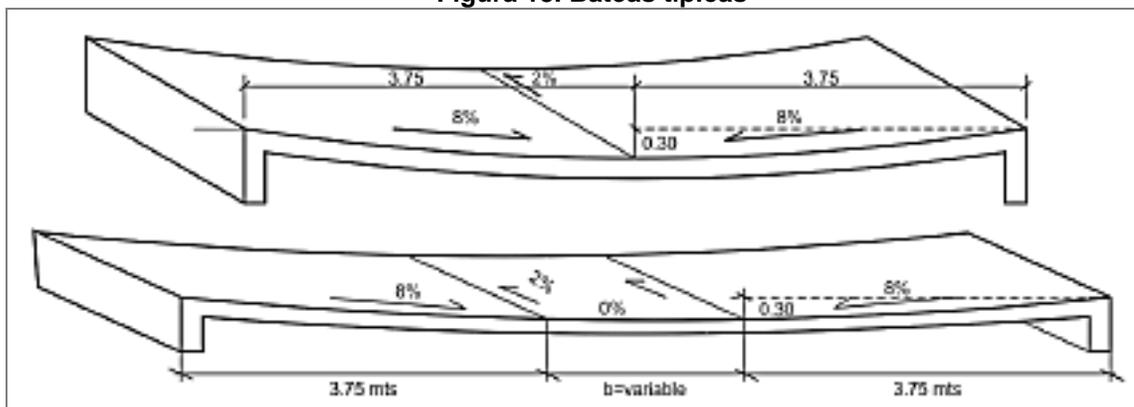
De acuerdo con la característica de la vía terciaria del municipio de Agua de Dios Cundinamarca, el Manual de drenaje del INVIAS, establece dos alternativas:

### 6.2.1. ALTERNATIVA 1. BATEAS, VADOS O BADENES

Estas estructuras superficiales, muy usadas en vías terciarias, generalmente construidas en concreto, permiten simultáneamente el paso del tránsito vehicular y de pequeñas quebradas o arroyos. Su diseño corresponde al de un canal asumiendo flujo uniforme (expresión de Manning), verificando que la lámina o nivel de agua no supere una altura de 30 cm para un caudal de diseño con periodo de retorno de 2 años.

Su sección es generalmente triangular, pero en caso de que se requiera una mayor capacidad, la sección trapezoidal es recomendable.

Figura 13. Bateas típicas



Fuente: Instituto Nacional de Vías, Manual de drenaje para carreteras, Diciembre 2009.

Sin embargo, conforme con las mediciones realizadas, y el testimonio de los habitantes de la casa contigua a la alcantarilla, esta alternativa no es viable por las siguientes razones:

- a) La lámina de agua supera los 30 centímetros establecidos por el manual.
- b) El estrangulamiento en el cauce aguas abajo de la alcantarilla, produce un resalto hidráulico que se ve reflejado en la zona de descole, y este podría generar no solo la socavación de la ladera, sino la fractura de la losa de la batea.
- c) El cauce del drenaje presenta material aluvial, canto rodado con piedras de gran diámetro, que podrían obstaculizar el flujo vehicular en el punto de la batea.
- d) La corriente subsuperficial terminaría removiendo y causando asentamientos diferenciales en la losa de la batea.

#### 6.2.2. ALTERNATIVA 2. ALCANTARILLAS

Una alcantarilla es un conducto relativamente corto a través del cual se cruza el agua bajo la vía de un costado a otro. Incluye, por lo tanto, conductos con cualquier sección geométrica: circulares y alcantarillas de cajón principalmente.

El diseño de la alcantarilla consiste en determinar el diámetro más económico que permita pasar el caudal de diseño sin exceder la carga máxima a la entrada  $12 (H_w)$  atendiendo también criterios de arrastre de sedimentos y de facilidad de mantenimiento.

Con respecto al eje de la vía, las alcantarillas pueden ser preferiblemente normales aunque pueden presentar un ángulo de sesgo o esviaje cuando se trata de cruces de corrientes en los cuales se conserva la dirección del drenaje natural o corriente, tal como se presenta en el cruce K3+250.

### 6.2.3. CAUDAL DE DISEÑO

El caudal de diseño de la alcantarilla es el caudal que debe transportar la estructura. Así, cuando la alcantarilla se requiere en el cruce de una quebrada, el caudal de diseño se obtendrá aplicando las metodologías descritas en el manual de drenaje para carreteras, versión 2009. En el caso de alcantarillas que reciben cunetas, subdrenajes o bajantes, el caudal de diseño corresponde a los caudales captados por las estructuras aferentes.

#### ***Método Racional***

Los modelos aplicables a cuencas pequeñas se basan en la relación:

$Q = K C i^{n1} S^{n2} A^{n3}$ , de esta manera, realizando las mediciones de los caudales máximos, en el cauce del canal natural, la pendiente del terreno (gradiente hidráulico) se determinó los siguientes caudales unitarios,

$$Q = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} * A$$

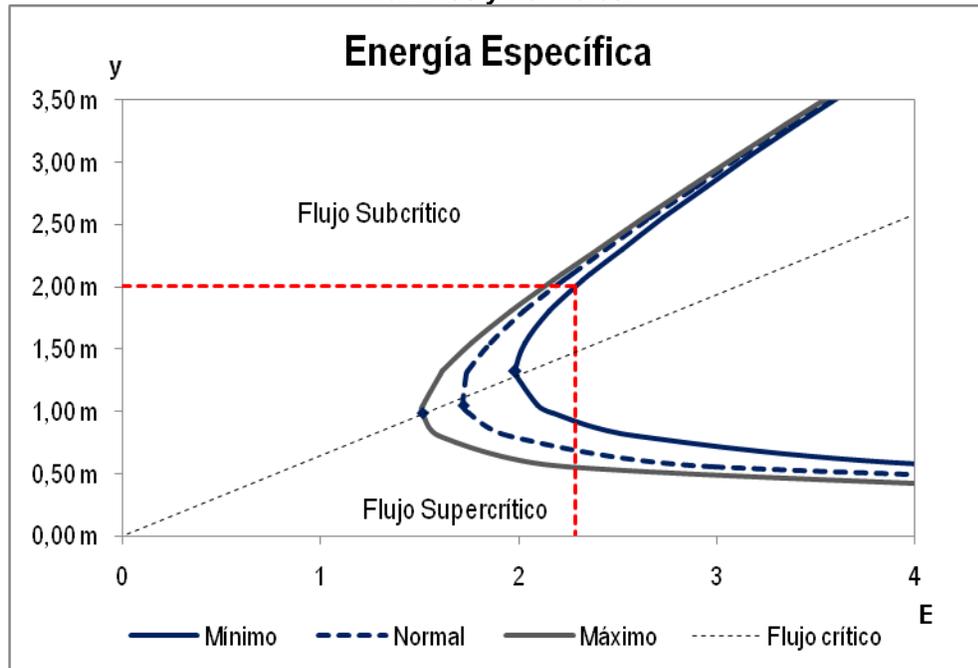
Donde A, es el área de la sección de canal de entrada. Y el caudal unitario (q), es el caudal dividido entre el ancho del canal.

**Tabla 6. Caudal unitario del canal de entrada a la alcantarilla K3+250, Agua de Dios Cundinamarca.**

		Mínimo	Normal	Máximo
Caudal unitario:	q2=	4.76 m³/s	3.80 m³/s	3.17 m³/s

Fuente: propia, con información externa

**Figura 14. Diagrama de Energía Específica del canal K3+250, con los caudales Mínimos, máximos y normales.**



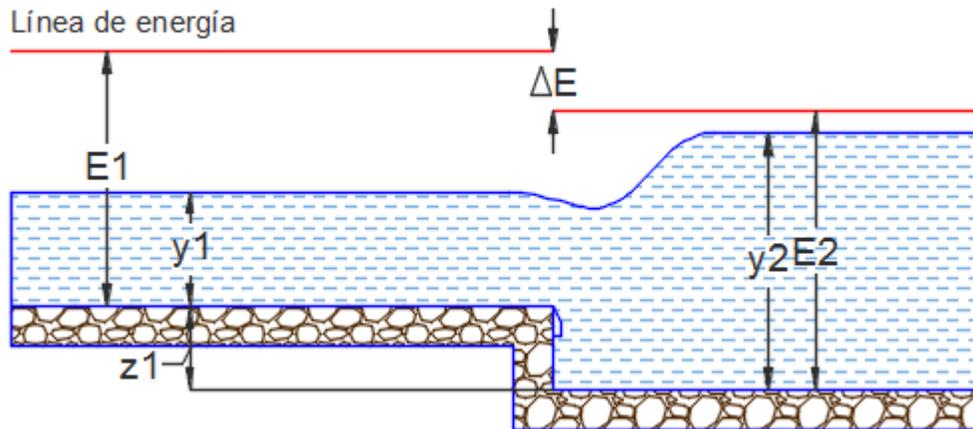
Fuente: propia con información externa

### 6.3. DISEÑO DEL CONDUCTO DE LA ALCANTARILLA

#### 6.3.1. FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO

El flujo en una alcantarilla es usualmente no uniforme, presentando zonas con flujo gradualmente variado y zonas con flujo rápidamente variado, por lo que su análisis teórico es complejo y se ha desarrollado con ayuda de experimentación en laboratorio. De acuerdo al punto donde se encuentre la sección de control en la alcantarilla, el flujo puede ser con control a la entrada o con control a la salida y dependiendo de la sumergencia o no de los extremos del conducto y la condición de flujo (a tubo lleno o parcialmente lleno), se presentan diferentes tipos de flujo, los cuales han sido clasificados por diferentes autores como Bodhaine, Henderson y Norman.

**Figura 15. Relación de Energía específica en un descenso después de la alcantarilla**



Fuente: propia, con información externa, junio 2015.

Para el caso de los descensos, como el de la alcantarilla K3+250, para el diseño, la condición ideal de flujo corresponde al caso A con control a la entrada, en el cual no existe sumergencia ni a la entrada ni a la salida; la altura crítica se encuentra en la entrada, siendo el flujo a superficie libre de tipo supercrítico, aproximándose a la altura normal en la salida de la alcantarilla.

En esta condición, el flujo sufre una contracción severa en la entrada, por lo que la capacidad de la tubería es mayor que la capacidad de la estructura de entrada, siendo las características de la entrada (tipo y forma) y no las de la tubería (sección, rugosidad, área, longitud, pendiente) las que determinan la capacidad de la alcantarilla. La alcantarilla se comporta como un vertedero si no existe sumergencia<sup>14</sup> en la entrada y como un orificio si se presenta sumergencia, existiendo una zona de transición pobremente definida entre ambos tipos de comportamiento, por lo que se emplean ecuaciones de regresión.

El funcionamiento de la alcantarilla se describe con la ecuación de la energía en canales abiertos:

$$H_1 = H_2$$

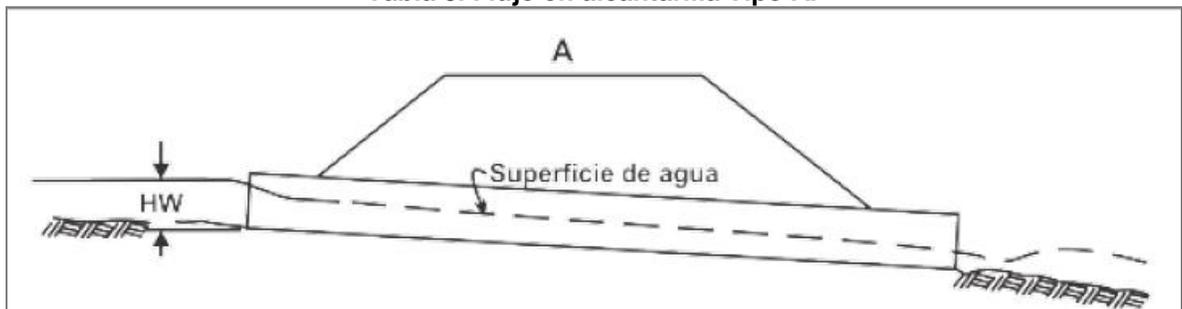
$$Z_1 + Y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Tabla 7. Elementos del descenso después de la alcantarilla

	Mínimo	Normal	Máximo
Z1	0.28 m	0.28 m	0.28 m
y1	2.00 m	2.00 m	2.00 m
V1	4.83 m/s	3.86 m/s	3.22 m/s
E1	3.47 m	3.04 m	2.81 m
v2	3.25 m <sup>3</sup> /s	3.25 m <sup>3</sup> /s	3.25 m <sup>3</sup> /s
y2	1.31 m	0.89 m	0.65 m
E2	2.29 m	2.43 m	2.13 m

Fuente: propia, con información externa

Tabla 8. Flujo en alcantarilla Tipo A.



Fuente: INVIAS, Manual de drenaje para carreteras, 2009

La profundidad hidráulica inicial está planteada en 1.00m, con las condiciones geométricas del canal natural, la profundidad hidráulica después de la alcantarilla está calculada en 2.50 m. Si se plantea la condición 1 alcantarilla con pendiente supercrítica, con salida no sumergida, flujo supercrítico, control a la entrada,  $y_2 < y_c$ .

**Tabla 9. Calculo de la pendiente crítica, para realizar flujo crítico**

$y_c$	1.32 m
$E_{1c}$	1.98 m
$E_{2c}$	1.98 m
$z_c$	-0.28 m

Fuente: propia, con información externa

Para garantizar el flujo supercrítico, se debe construir la solera con una contra pendiente de 28 cm.

**Tabla 10. Velocidad dentro de la alcantarilla**

$n_{Box} =$		0.013	
$b =$	3.50 m	<b>Area:</b>	0.48 m
$h =$	0.14 m	<b>Perímetro:</b>	3.78 m
<b><math>R_h =</math></b>		0.13	
$V =$	6.49 m <sup>3</sup> /s	6.49 m <sup>3</sup> /s	6.49 m <sup>3</sup> /s
$\Delta L$	0.28 m	0.28 m	0.28 m
$L =$	5.50 m	5.50 m	5.50 m
$S =$	5%	5%	5%

### 6.3.2. ARRASTRE DE SEDIMENTOS

En las zonas en las cuales el arrastre de sedimentos por parte de la corriente es muy alto o las pendientes son muy altas e inestables y existen desprendimientos de detritos y rocas de gran tamaño, existen diferentes criterios para dimensionar las alcantarillas.

El primero, consiste en proyectar una estructura de mayor tamaño a los requerimientos hidráulicos, que permita el paso de los materiales de arrastre; el segundo consiste en construir en la corriente o quebrada, aguas arriba de la estructura, una obra de retención del material de arrastre y el tercero consiste en reemplazar la alcantarilla por un pontón de gálibo suficiente para el paso del material. La selección de una de estas alternativas se debe realizar a partir de las soluciones factibles para el caso específico y de un análisis de sus costos.

Por otra parte, si por capacidad hidráulica se proyecta más de un conducto de forma paralela, se debe considerar el problema que se origina en los tabiques de separación de los conductos, pues en esta zona se acumulan sedimentos que pueden disminuir la capacidad hidráulica de la alcantarilla.

Para reducir este problema, se pueden instalar los conductos a diferente altura, de manera que se concentren el flujo y los sedimentos por el conducto más bajo, dejando el otro conducto menos expuesto a la acumulación de sedimentos y basuras.

Estas estructuras múltiples son recomendables, entonces, cuando el arrastre de sedimentos es bajo y no se deben emplear si los materiales de arrastre son bolos o cantos rodados.

### 6.3.3. PENDIENTE DEL CONDUCTO O TUBERÍA

La pendiente hidráulica de las alcantarillas se debe encontrar, en lo posible, entre 0.5% y 5%, pudiendo alcanzar valores tales que no produzcan velocidades superiores a la admisible de acuerdo al material del conducto o que comprometan la estabilidad de la obra. Como recomendación, es necesario anclar la tubería mediante dentellones a partir de una pendiente de 20%.

Para pendientes superiores a la máxima permisible de acuerdo al criterio de velocidad, la alcantarilla se deberá proyectar como una estructura disipadora ya sea con un fondo liso y estructura de disipación o con un fondo escalonado.

La selección de estas últimas alternativas debe ser analizada desde el punto de vista constructivo y de costos y comparada con la proyección de pontones, obras en que la pendiente de la corriente no es modificada.

### 6.3.4. SOCAVACIÓN EN ALCANTARILLAS

Durante las crecientes, en las entradas y salidas de las alcantarillas se producen vórtices y remolinos que erosionan y socavan el talud o el terreno bajo la alcantarilla, por lo que en las placas de solera, tanto de la entrada como de la salida, es necesario proyectar dentellones en los extremos. Para el caso de la alcantarilla K3+250, no se evidencia el caso de socavación en la alcantarilla. La socavación existe en la ladera aguas debajo de la alcantarilla en la zona demarcada como curva de salida (ver figura 11).

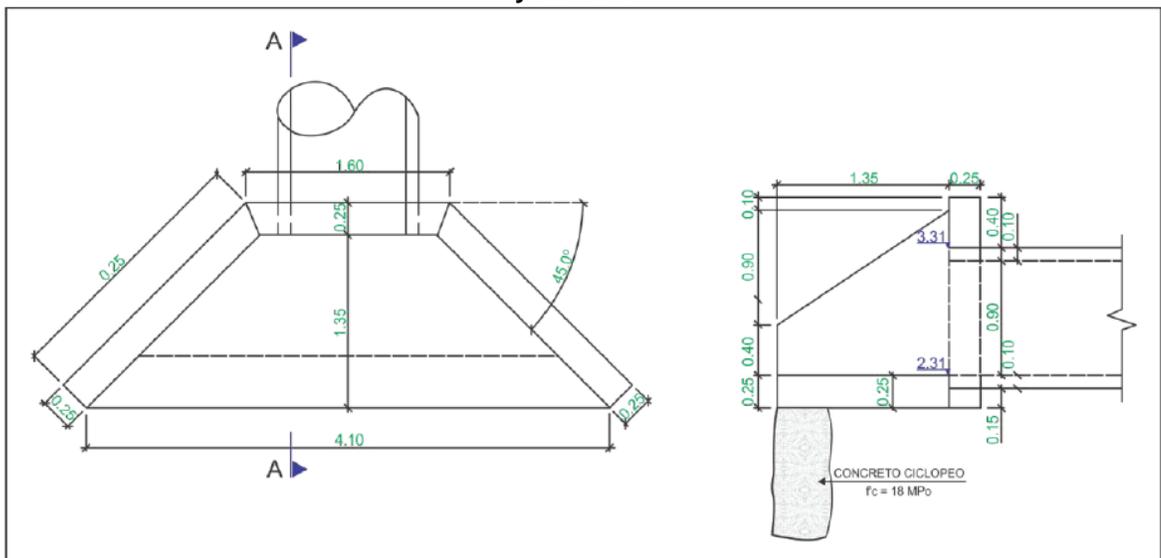
### 6.3.5. ALETAS, CABEZOTES Y SOLERAS

Los muros de cabecera o cabezotes y de aletas retienen el material del terraplén, protegiéndolo de la erosión y acortando la longitud de la alcantarilla, además de

dar estabilidad al extremo de la tubería al actuar como contrapeso ante posibles fuerzas de subpresión. Las aletas ayudan a guiar el flujo hacia la alcantarilla, mejorando su desempeño hidráulico. Su orientación y su longitud se proyectan para asegurar la entrada del flujo al conducto. Atendiendo al criterio hidráulico, un ángulo de  $45^\circ$  es ideal para las aletas, pero se podrá modificar para las condiciones específicas en cada caso.

Las placas de solera protegen la tubería contra la erosión, facilitan la entrada de agua al conducto y contrarrestan las fuerzas de subpresión.

**Figura 16. Elementos típicos de estructura terminal en alcantarillas: cabezote, aletas, solera y dentellón**



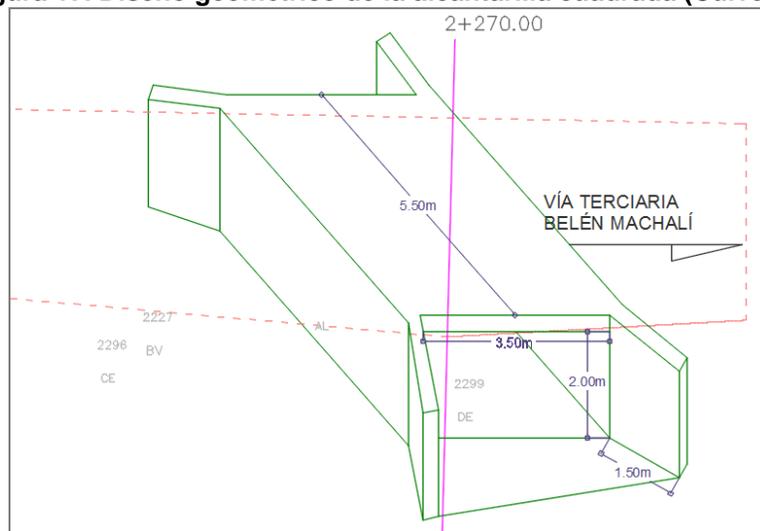
Fuente: INVIAS, Manual de Drenaje para carreteras

### 6.3.6. ESTRUCTURAS DE SALIDA

Las estructuras de salida son transiciones entre la alcantarilla y la corriente receptora y, por lo tanto, sus criterios de diseño también se basan en el hecho de no alterar drásticamente los patrones de flujo del cuerpo de agua receptor (en cuanto a caudal y velocidad) y en no generar problemas de socavación.

#### 6.4. DISEÑO DE LA ALCANTARILLA CUADRADA TIPO CULVERTS.

Figura 17. Diseño geométrico de la alcantarilla cuadrada (Culverts).



Fuente: propia, con información externa, junio 2015.

##### 6.4.1. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL SUELO

Las características geotécnicas más importantes de los materiales encontrados son:

- Peso unitario del terreno (afirmado):  $1.84 \text{ kN/m}^3$ , con un porcentaje de compactación mínimo del 95%.
- No se encontró nivel freático, el agua subsuperficial es proveniente de escorrentía de las laderas de las montañas, por lo que debe ser abatido por las obras a realizar en la adecuación del terreno y con sub drenes que se deben instalar en la parte inferior del box culvert del proyecto.
- Coeficiente de presión activa ( $k_a$ ) de 0.35
- Capacidad portante del suelo de  $250 \text{ kN/m}^2$ .

Box Culvert:

- Diagrama de presión de tierras de forma trapezoidal
- Módulo de balasto del suelo entre  $400\text{-}600 \text{ t/m}^3$
- Capacidad portante del suelo  $147.2 \text{ kg/cm}$

#### 6.4.2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

El análisis y diseño del box Culvert del K3+250 de vía Belén , Agua de Dios Cundinamarca, se realizó siguiendo las recomendaciones dadas en el capítulo C.20 de las Normas Sismo Resistentes 2010.

Para el análisis estructural, se tomaron en cuenta varias suposiciones que correspondieron a las condiciones del box vacío y el box lleno. De la misma forma, se verificó la flotación la cual no se debe presentar debido al abatimiento del nivel freático en el suelo por obras de drenaje y por el peso del suelo de relleno que impide que flote la estructura.

Las losas inferiores de los box y las losas de las estructuras, se han considerado las combinaciones de carga más favorables de reducción de resistencia recomendados por la ACI para estructuras hidráulicas de este tipo.

#### 6.4.3. MATERIALES

La estructura del proyecto, está compuesta en su totalidad por concreto reforzado. En el caso del concreto, ese tendrá una resistencia nominal a la compresión de 28 MPa, y el acero de refuerzo tendrá una resistencia a la fluencia de 420 MPa.

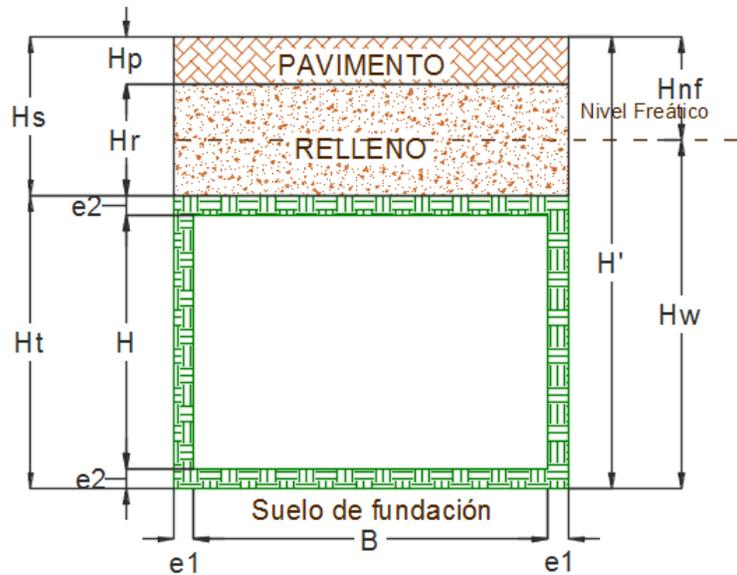
<b>PROPIEDADES</b>	<b>Valor</b>
Densidad del concreto reforzado	24 kN/m <sup>3</sup>
Resistencia nominal del concreto a la compresión	28 MPa
Resistencia nominal a la fluencia del acero	420 MPa $\Phi \geq 3/8"$ 240 Mpa $\Phi \leq 3/8"$
Módulo de elasticidad del concreto	24870 Mpa
Densidad de alistados	22 kN/m <sup>3</sup>



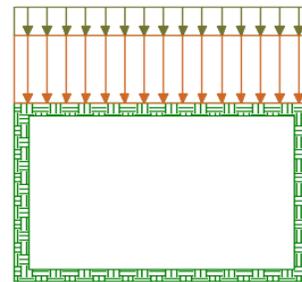
### 6.4.5. GEOMETRÍA DEL BOX CULVERT

Tabla 13. Geometría del Box Culvert

Hp=	0.30m
Hr=	0.20m
H=	2.00m
e2=	0.20m
Hw=	0.00m
Hmf=	3.50m
Hs=	0.50m
Ht=	2.40m
H'=	2.90m
B=	3.50m
e1=	0.20m
Bt=	3.45m
Log=	1.00m



	0.34
Qr relleno:	Ton/m
Qr	0.54
pavimento:	Ton/m
	0.88
Qr Total=	Ton/m



#### 6.4.6. EVALUACIÓN DE CARGA DINÁMICA DE TRÁNSITO

P=	7.5
	5.05
QT=	Ton/m
FI=	20%
	6.06
QTxFI=	Ton/m

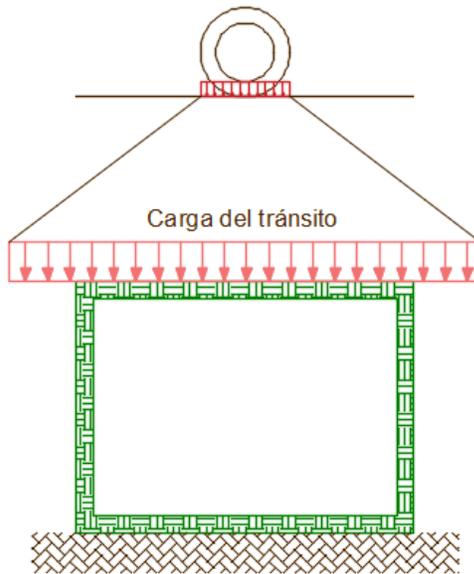
El factor de impacto debido a cargas vivas debe evaluarse, según la altura del relleno (H) de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 14. Factor de impacto del tráfico vehicular**

Altura del relleno H mm	Factor de impacto %
0 mm - 300 mm	30
310 mm - 600 mm	20
610 mm - 900 mm	10
910 mm o mas	0

Fuente: AIS, Código Colombiano de Puentes, 1995, actualizada 2014.

**Figura 18. Distribución de carga de tránsito.**



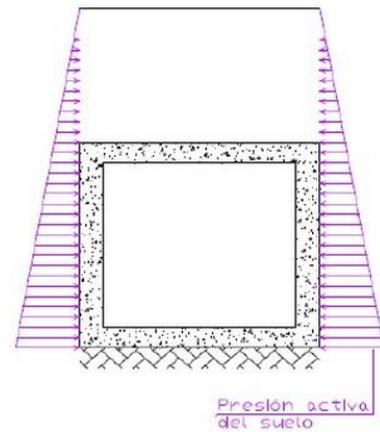
Fuente: propia, con información externa.

**6.4.7. PRESIÓN DE TIERRA ESTÁTICO (TEORÍA DE RANKINE)**

	H	$\gamma$	$\phi$
Pavimento	0.30m	1.8	0
Relleno	0.20m	1.72	24
Suelo	3.40m	1.72	24

**Tabla 15. Distribución de Presión Activa**

H	$\gamma$	$\phi$	$K_a$	$P_a$
0	1.72	24	0.422	0.00 Ton/m
0.3	1.72	24	0.422	0.22 Ton/m
0.5	1.72	24	0.422	0.36 Ton/m



0.5	1.72	24	0.422	0.36 Ton/m
1.1	1.72	24	0.422	0.80 Ton/m
1.7	1.72	24	0.422	1.23 Ton/m
2.3	1.72	24	0.422	1.67 Ton/m
2.9	1.72	24	0.422	2.10 Ton/m

Fuente: propia, 2015

Partes de división de Altura de sección	4  0.6	Datos para carga distribuida Etabs	0.00	0.363 Ton/m
			0.25	1.016 Ton/m
			0.50	1.451 Ton/m
			0.75	1.886 Ton/m
			1.00	2.104 Ton/m

#### 6.4.8. PRESIÓN LATERAL EJERCIDA POR EL TRÁNSITO

El análisis se realiza para un camión de diseño C4095 el cual aplica una carga de 7.5 Ton, en un área de 0.25m\*0.50m (Dimensiones de las llantas).



Fuente: propia

#### 6.4.9. PRESIÓN DE TIERRA ESTADO PSEUDO ESTÁTICO

Aplicando la teoría de Monon Obe y Okabe:

Teoría de Monon Obe y Okabe			Profundidad	$\Delta AE$
<b>Ka</b>	0.42		0.00m	0.36
<b>H'</b>	2.90		0.30m	0.32
<b><math>\gamma</math></b>	1.72		0.60m	0.28
<b><math>\Phi</math></b>	24.00	0.4189 rad	0.90m	0.25
<b><math>\delta</math></b>	0.00	0.0000 rad	1.20m	0.21
<b>i=</b>	0.00	0.0000 rad	1.50m	0.17
<b><math>\beta</math></b>	0.00	0.0000 rad	1.80m	0.14
<b>Aa</b>	0.20		2.10m	0.10
<b>Kh</b>	0.10		2.40m	0.06
<b>Kv</b>	0.00		2.70m	0.02
<b><math>\theta</math></b>	5.71	0.0997 rad	3.00m	-0.01
<b><math>\Delta AE</math></b>	1.84		3.30m	-0.05
<b>KAE</b>	0.494		3.60m	-0.09
<b><math>\Delta k</math></b>	0.07		3.90m	-0.12
			4.20m	-0.16

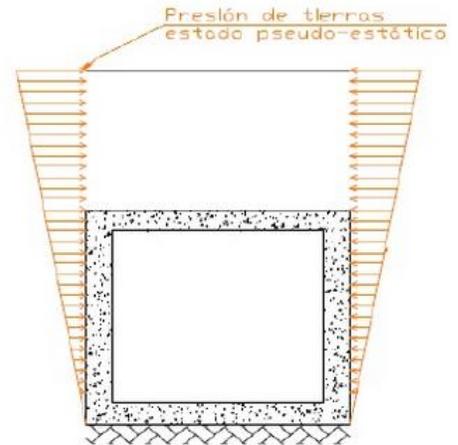


Tabla 18. Carga generada por el peso propio del Box Culvert

Tramo de análisis	1.00 m
Peso de un muro derecho	1.15 Ton
Peso de un muro izquierdo	0.96 Ton
Peso placa inferior	1.68 Ton
Peso placa superior	1.68 Ton

Peso Total por tramo.	6.47
-----------------------	------

Fuente: propia

#### 6.4.10. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

El factor de seguridad de capacidad portante se analiza teniendo encuenta que el Q admisible debe ser mayor o igual a reacción del suelo generada por la aplicación de cargas verticales.

Área de contacto: 4.00 m<sup>2</sup>

Carga por peso propio del box culvert:	1.66 Ton/m <sup>2</sup>
Carga debida al relleno y pavimento:	0.88 Ton/m <sup>2</sup>
Carga debida al tránsito:	6.06 Ton/m <sup>2</sup>
Carga Total aplicada al suelo:	8.61 Ton/m <sup>2</sup>
Capacidad portante del suelo:	25.00 Ton/m <sup>2</sup>
Chequeo de capacidad:	Ok
Estado de capacidad demanda:	34%

#### 6.4.11. CALCULO DE COEFICIENTE DE REACCIÓN DEL SUBSUELO

El método flexible de diseño, supone el suelo equivalente a un número infinito de resortes elásticos; la constante elástica de los resortes se denomina el coeficiente k de reacción del subsuelo.

Separación de los	
resortes x=	0.31
Separación de los	
resortes y=	1.00
	620.0
Fuerza del resorte Fr=	Ton/m

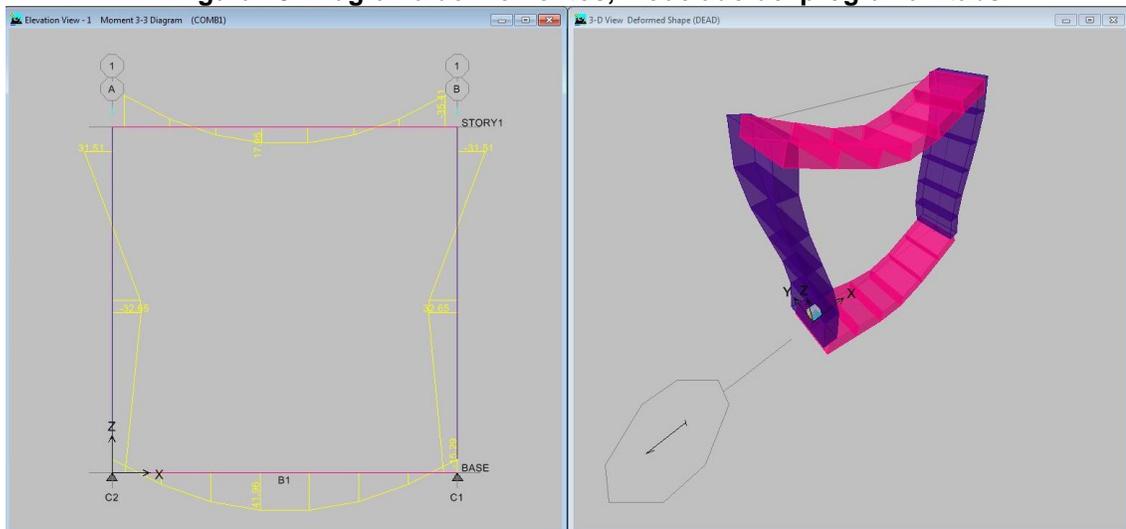
#### 6.4.12. MODELAMIENTO

Para el cálculo del refuerzo se tomó la combinación de carga correspondiente al grupo x, descrito en la sección A.3.12 "Combinaciones de Carga" del Código Colombiano de Diseño de Puentes.

GRUPO	COMBINACIÓN			
	Y	D	L	E
X	1.30	1.00	1.67	1.00

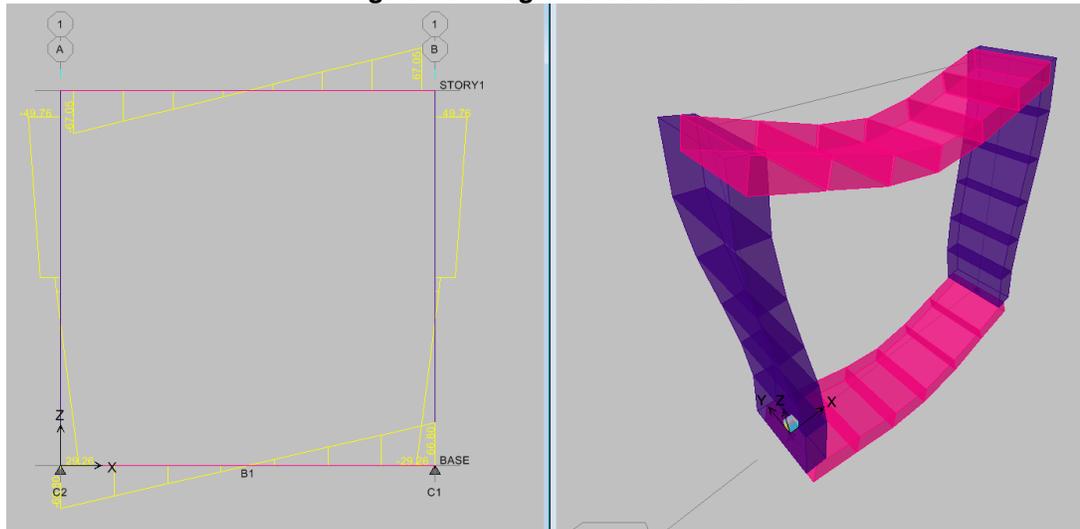
#### 6.4.13. DIAGRAMA DE MOMENTOS Y DE CORTANTE

Figura 19. Diagrama de momentos, modelado del programa Etabs.



Fuente: propia, con información externa

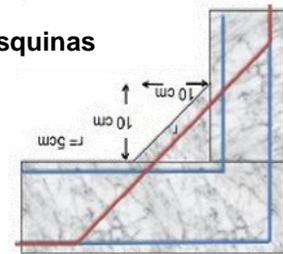
**Figura 20. Diagrama de cortante**



Fuente: propia, con información externa

**Tabla 19. Refuerzo longitudinal para las esquinas**

Cuantía mín	Base muro	As	
0.0018	0.25m	5.4	No. 4 c./0.25



#### 6.4.14. REFUERZO DE LA ESTRUCTURA A FLEXIÓN

Tabla A Acero Negativo losa superior

DISEÑO A FLEXIÓN			
L =	3.50m	Mu=	35.41 kN.m
h=	0.25m	$\rho$ =	0.00362956
b=	1.00m	M (kN.m)	53.10 kN.m
R=	0.05m	Ok	53.10 kN.m
f'c=	28		
fy=	420	As=	726 mm <sup>2</sup>
d=	0.20m	Armadura:	$\Phi$ 1/2 c/0.15

Fuente: propia

**Tabla B: Acero Superior losa superior**

DISEÑO A FLEXIÓN		Acero Superior losa superior	
L =	3.50m	Mu=	50.53 kN.m
h=	0.25m	$\rho$ =	0.005254915
b=	1.00m	M (kN.m)	75.80 kN.m
R=	0.05m	Ok	75.80 kN.m
f'c=	28		
fy=	420	As=	1051 mm <sup>2</sup>
d=	0.20m	Armadura:	$\Phi$ 5/8 c/.0.15

Fuente propia

**Tabla C Acero Inferior losa superior**

DISEÑO A FLEXIÓN		Acero Inferior losa superior	
L =	3.50m	Mu=	17.95 kN.m
h=	0.25m	$\rho$ =	0.001811062
b=	1.00m	M (kN.m)	26.90 kN.m
R=	0.05m	Ok	26.90 kN.m
f'c=	28		
fy=	420	As=	362 mm <sup>2</sup>
d=	0.20m	Armadura:	$\Phi$ 1/2 c/.0.30

Fuente Propia

**Tabla D Acero Negativo losa inferior**

DISEÑO A FLEXIÓN		Acero Negativo losa inferior	
L =	3.50m	Mu=	22.97 kN.m
h=	0.25m	$\rho$ =	0.002326534
b=	1.00m	M (kN.m)	34.50 kN.m
R=	0.05m	Ok	34.50 kN.m
f'c=	28		
fy=	420	As=	465 mm <sup>2</sup>
d=	0.20m	Armadura:	$\Phi$ 1/2 c/.0.25

Fuente Propia

**Tabla E Acero Positivo losa inferior**

DISEÑO A FLEXIÓN		Acero Positivo losa inferior	
L =	3.50m	Mu=	171.00 kN.m
h=	0.25m	$\rho$ =	0.012750905
b=	1.00m	M (kN.m)	171.00 kN.m
R=	0.05m	Ok	171.00 kN.m
f'c=	28		
fy=	420	As=	2550 mm <sup>2</sup>
d=	0.20m	Armadura:	$\Phi$ 5/8 c/.0.11

Fuente Propia

**Tabla F Acero Interno Muro**

DISEÑO A FLEXIÓN		Acero Interno Muro	
L =	3.50m	Mu=	32.65 kN.m
h=	0.25m	$\rho$ =	0.003339647
b=	1.00m	M (kN.m)	49.00 kN.m
R=	0.05m	Ok	49.00 kN.m
f'c=	28		
fy=	420	As=	668 mm <sup>2</sup>
d=	0.20m	Armadura:	$\Phi$ 1/2 c/.0.15

Fuente Propia

**Tabla G Acero externo Muro**

DISEÑO A FLEXIÓN		Acero externo Muro	
L =	3.50m	Mu=	31.51 kN.m
h=	0.25m	$\rho$ =	0.003218812
b=	1.00m	M (kN.m)	47.30 kN.m
R=	0.05m	Ok	47.30 kN.m
f'c=	28		
fy=	420	As=	644 mm <sup>2</sup>
d=	0.20m	Armadura:	$\Phi$ 1/2 c/.0.20

Fuente propia

Tabla H Acero externo Muro

DISEÑO A FLEXIÓN		Acero externo Muro	
L =	2.00m	Mu=	41.96 kN.m
h=	0.25m	$\rho$ =	0.004322759
b=	1.00m	M (kN.m)	62.90 kN.m
R=	0.05m	Ok	62.90 kN.m
f'c=	28		
fy=	420	As=	865 mm <sup>2</sup>
d=	0.20m	Armadura:	$\Phi$ 5/8 c/.0.20

Fuente Propia

Tabla I Acero externo Muro

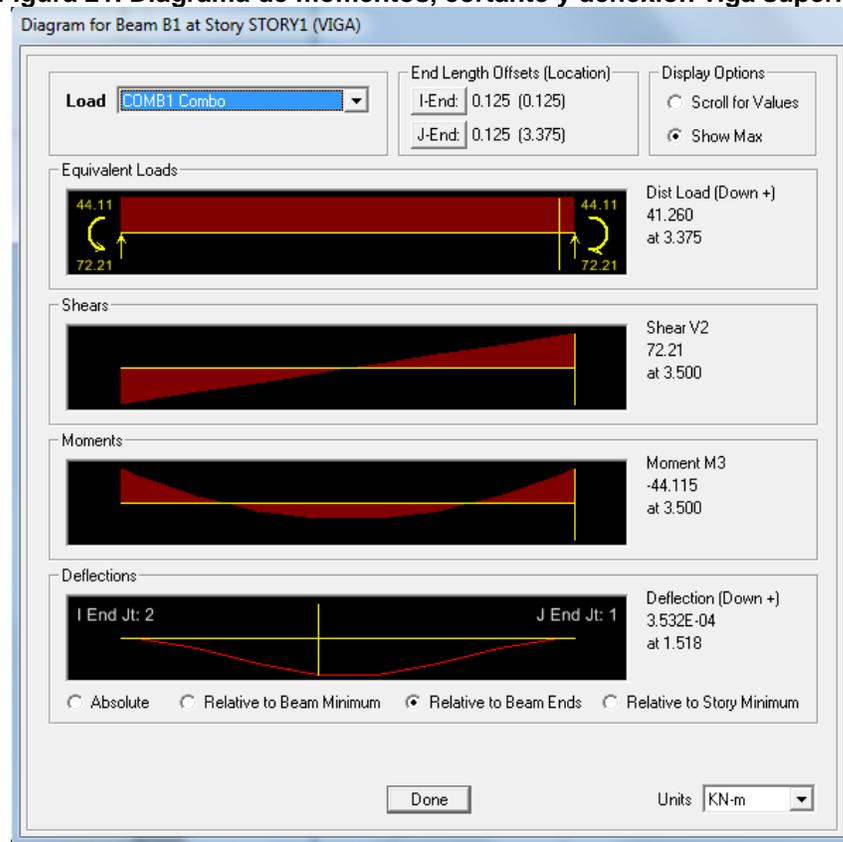
DISEÑO A FLEXIÓN		Acero externo Muro	
L =	2.50m	Mu=	15.20 kN.m
h=	0.25m	$\rho$ =	0.00153186
b=	1.00m	M (kN.m)	22.80 kN.m
R=	0.05m	Ok	22.80 kN.m
f'c=	28		
fy=	420	As=	306 mm <sup>2</sup>
d=	0.20m	Armadura:	$\Phi$ 1/2 c/.0.40

Fuente propia

Los coeficientes de diseño estructural empleados en la modelación, corresponden a los establecidos por las Normas Sismo Resistentes Colombianas para reforzamiento de concreto.

Consider Minimum Eccentricity =	Yes
Number of Interaction Curves =	24
Number of Interaction Points =	11
Pattern Live Load Factor =	0.750
Utilization Factor Limit =	0.950
Phi (Tension Controlled) =	0.900
Phi (Comp. Controlled Tied) =	0.650
Phi (Comp. Controlled Spiral) =	0.750
Phi (Shear and/or Torsion) =	0.750
Phi (Shear Seismic) =	0.600
Phi (Shear Joint) =	0.850

**Figura 21. Diagrama de momentos, cortante y deflexión viga superior**

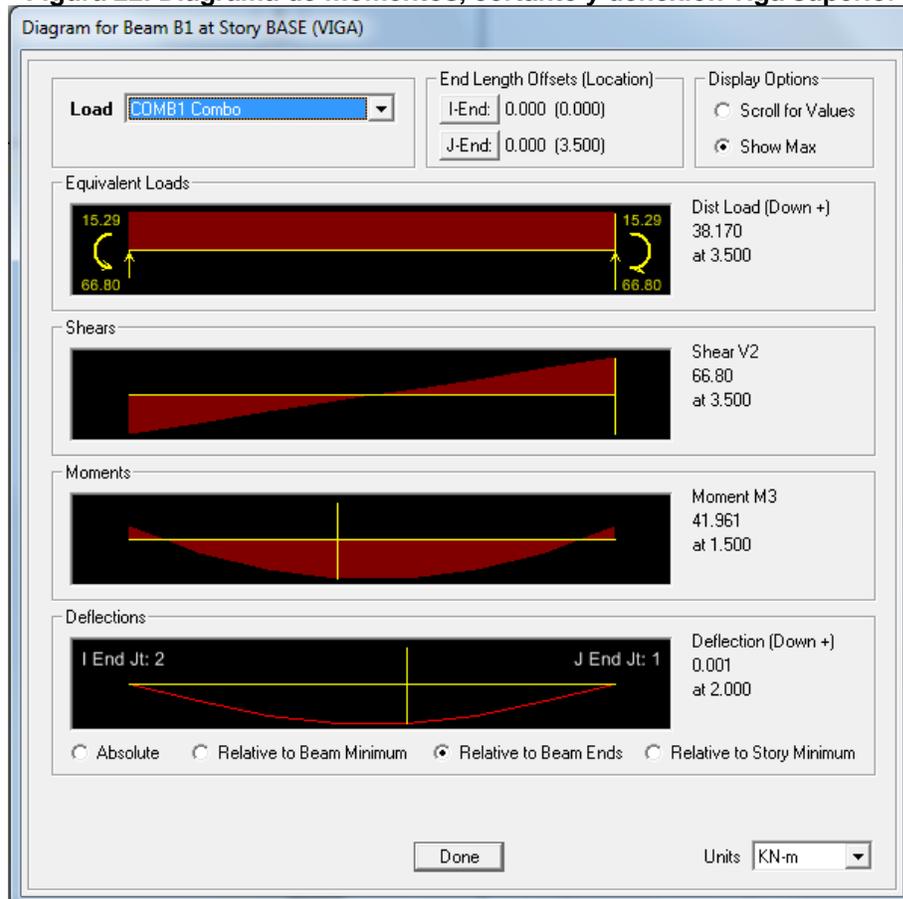


**Tabla 20. Reforzamiento de elementos diseñados a flexión**

Story Level	Beam Bay	Section Name	Location	Top Rebar Area		Bottom Rebar Area	Shear Rebar Area
STORY1	B1	VIGA	End-I	3.34E-04	Φ 1/2 c/.0.38	1.66E-04	Φ 1/2 c/.0.77
STORY1	B1	VIGA	Middle	8.28E-05	Φ 1/2 c/.1.55	5.23E-04	Φ 1/2 c/.0.24
STORY1	B1	VIGA	End-J	3.34E-04	Φ 1/2 c/.0.38	1.66E-04	Φ 1/2 c/.0.77
BASE	B1	VIGA	End-I	4.42E-04	Φ 1/2 c/.0.29	2.20E-04	Φ 1/2 c/.0.58
BASE	B1	VIGA	Middle	1.09E-04	Φ 1/2 c/.1.17	5.22E-04	Φ 1/2 c/.0.24
BASE	B1	VIGA	End-J	4.42E-04	Φ 1/2 c/.0.29	2.20E-04	Φ 1/2 c/.0.58

Fuente: propia.

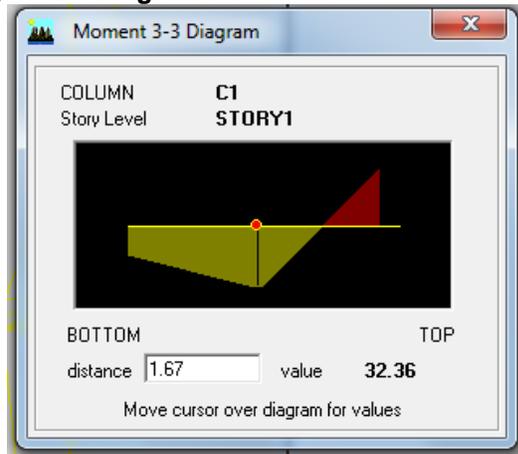
**Figura 22. Diagrama de momentos, cortante y deflexión viga superior**



Fuente: propia, con información externa

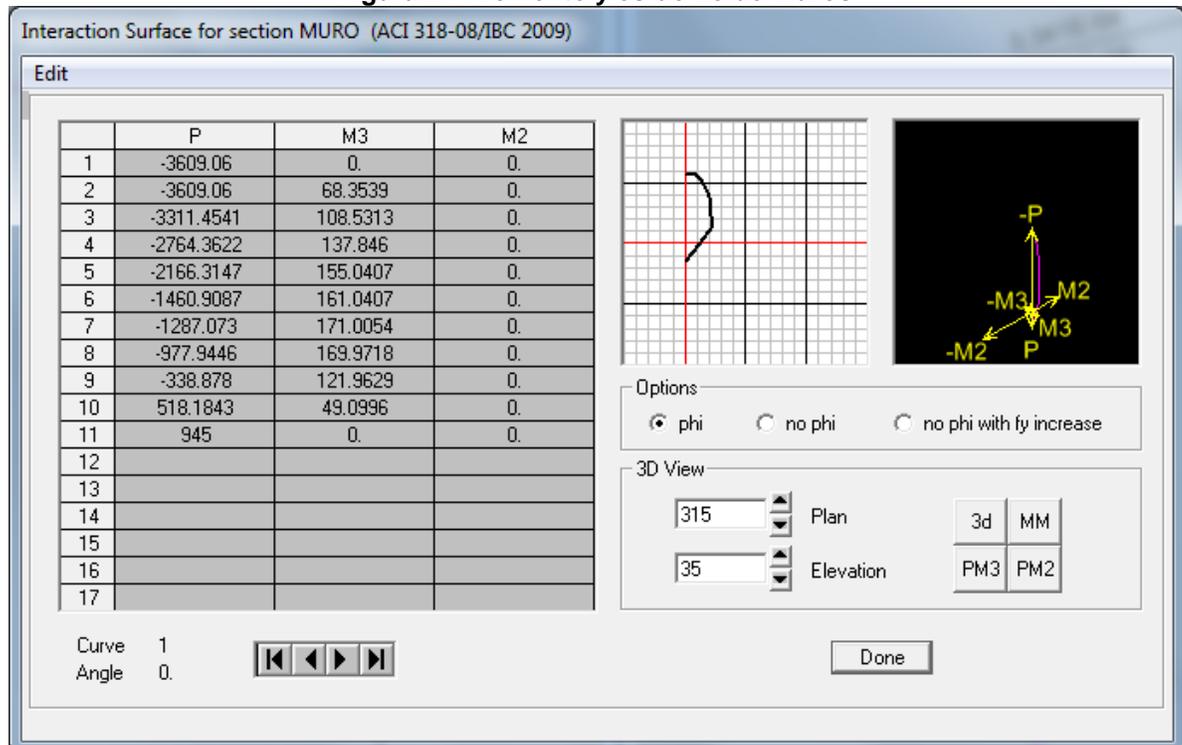
6.4.15. REFUERZO ESTRUCTURAL DE MUROS

Figura 23. Diagrama de momentos en los muros.



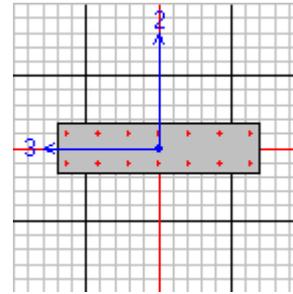
Fuente: propia

Figura 24. Momento y esfuerzo de muros



Fuente: propia

Story Level: STORY1  
 Element: C1  
 Section Name: MURO  
 Frame Type: Sway Special



L=3.500  
 B=1.000      D=0.250      dc=0.050  
 E=24900000.00    fc=28000.000    Lt.Wt. Fac.=1.000  
 fy=420000.000    fys=240000.000  
 RLLF=1.000

Axial Force & Biaxial Moment Reinforcement for Pu-Mu2-Mu3 Interaction

Column End	Rebar Area	Rebar %
Top	0.003	1.000
Bottom	0.003	1.000

Column End	Design Pu	Design Mu2	Design Mu3	Station Loc
Top	66.480	0.000	-22.400	3.250
Bottom	144.480	0.000	24.717	0.000

Controlling Combo

Top	DCON2
Bottom	DCON2

Shear Reinforcement for Major Shear (V2)

Column End	Rebar Av/s	Design Vu	Station Loc	Controlling
Top	0.000	14.497	3.250	DCON2
Bottom	0.000	14.497	0.000	DCON2

Combo

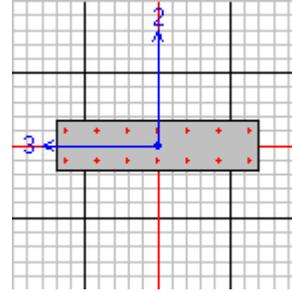
Top	DCON2
Bottom	DCON2

Shear Reinforcement for Minor Shear (V3)

Column End	Rebar Av/s	Design Vu	Station Loc	Controlling
Top	0.000	3.250	DCON2	
Bottom	0.000	0.000	DCON2	

Column End	Rebar Area	Rebar %	Refuerzo
Top	0.003	1.000	2Φ 3/4 c/.0.18
Bottom	0.003	1.000	2Φ 3/4 c/.0.18

Story Level: STORY1  
 Element: C2  
 Section Name: MURO  
 Frame Type: Sway Special



L=3.500  
 B=1.000    D=0.250    dc=0.050  
 E=24900000.00    fc=28000.000    Lt.Wt. Fac.=1.000  
 fy=420000.000    fys=240000.000  
 RLLF=1.000

Axial Force & Biaxial Moment Reinforcement for Pu-Mu2-Mu3 Interaction

Column End	Rebar Area	Rebar %
Top	0.003	1.000
Bottom	0.003	1.000

Column End	Design Pu	Design Mu2	Design Mu3	Station Loc
Controlling Combo				
Top	66.480	0.000	22.400	3.250
Bottom	144.480	0.000	-24.717	0.000

Shear Reinforcement for Major Shear (V2)

Column End	Rebar Av/s	Design Vu	Station Loc	Controlling Combo
Top	0.000	14.497	3.250	DCON2
Bottom	0.000	14.497	0.000	DCON2

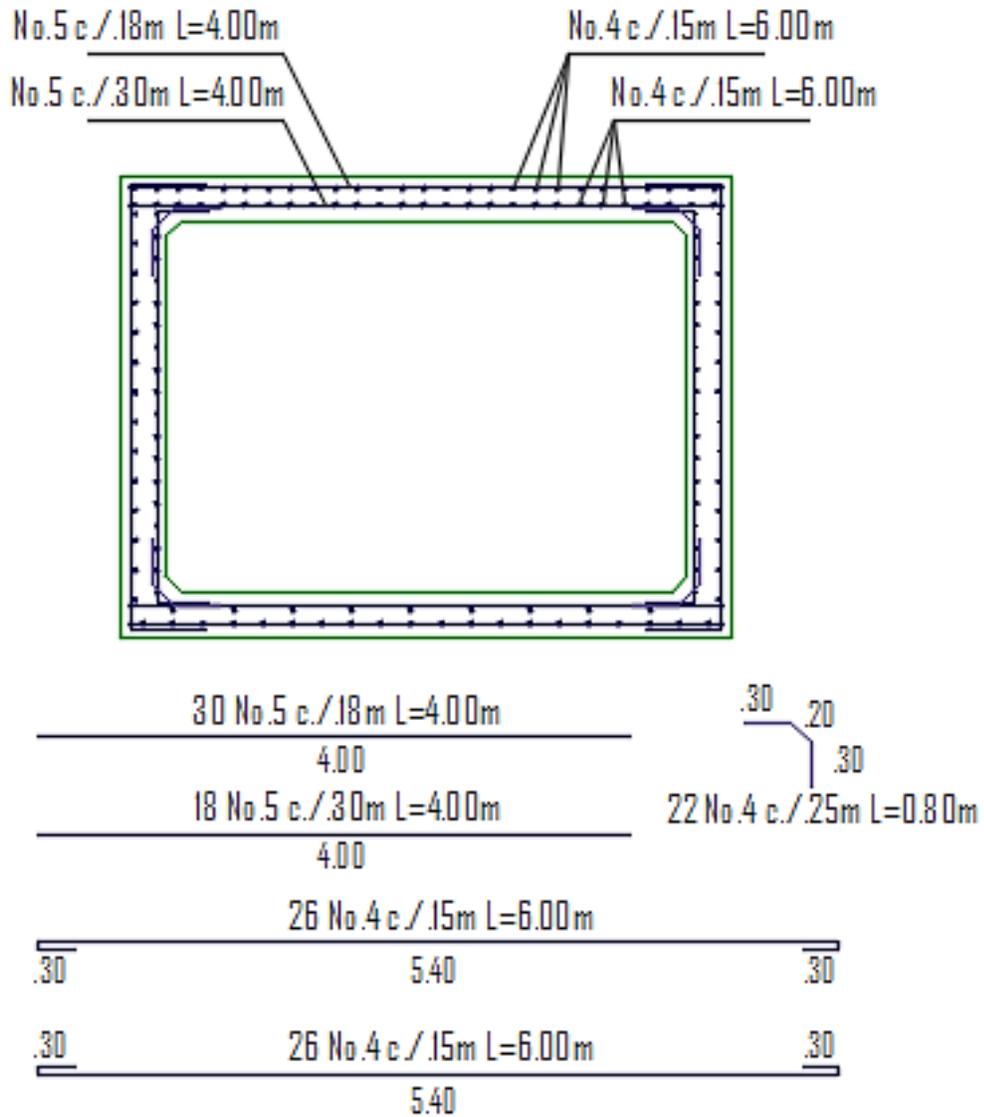
Shear Reinforcement for Minor Shear (V3)

Column End	Rebar Av/s	Design Vu	Station Loc	Controlling Combo
Top	0.000	0.000	3.250	DCON2
Bottom	0.000	0.000	0.000	DCON2

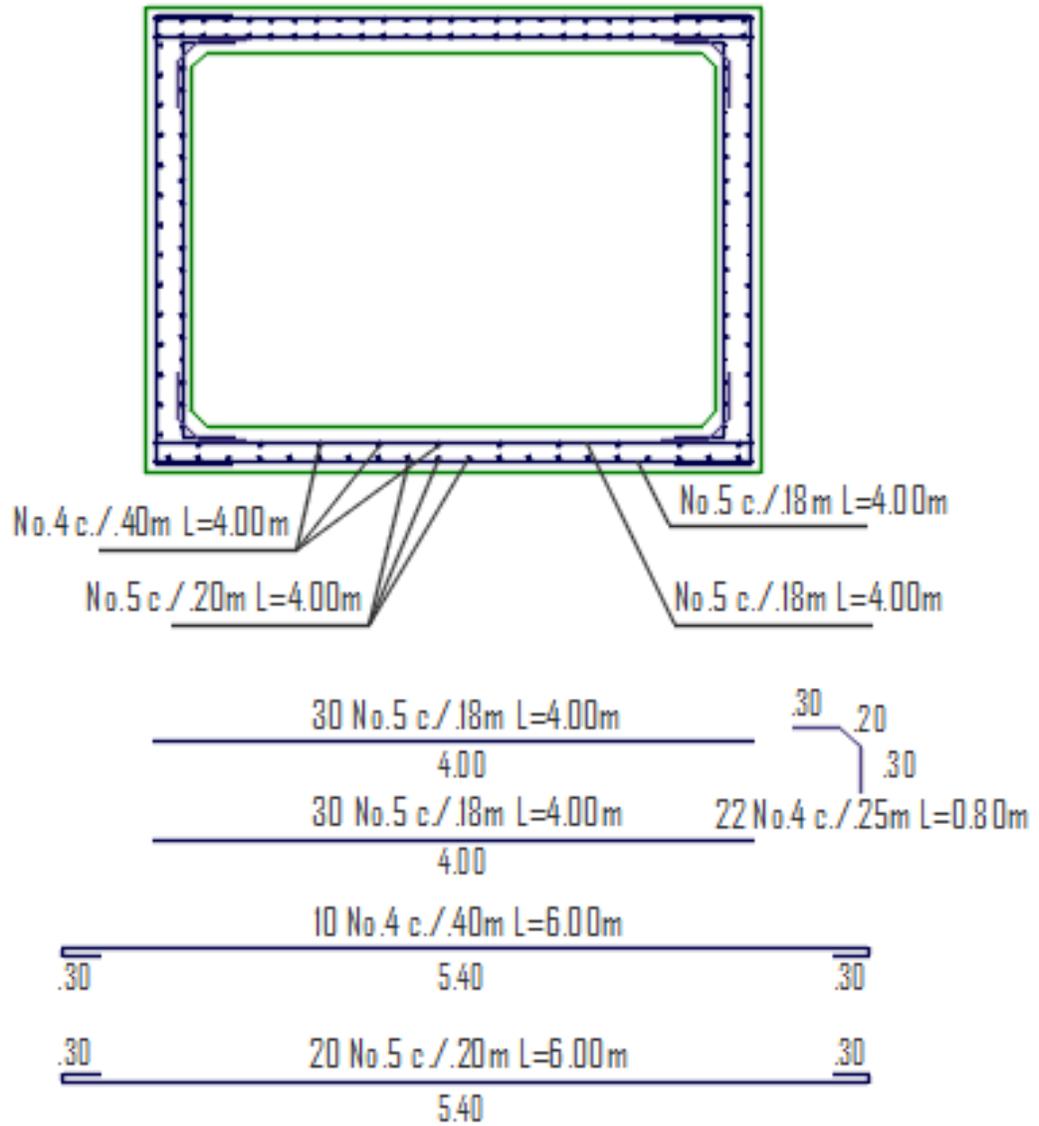
Column End	Rebar Area	Rebar %	Refuerzo
Top	0.003	1.000	2Φ 3/4 c/.0.18
Bottom	0.003	1.000	2Φ 3/4 c/.0.18

6.5. DETALLES DEL REFUERZO ESTRUCTURAL

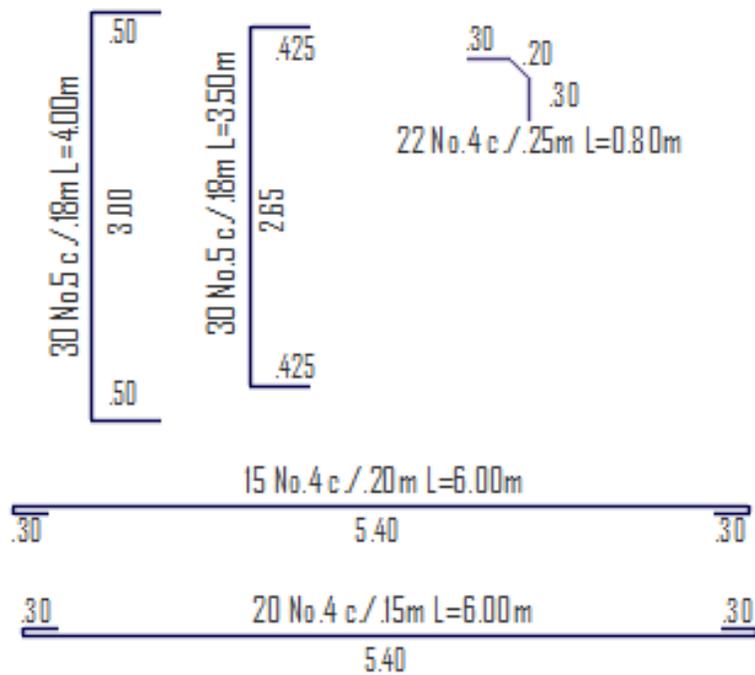
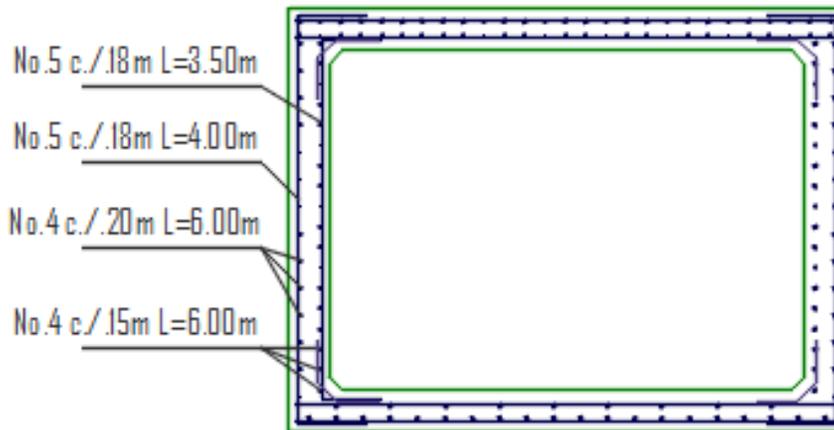
# REFUERZO LOSA SUPERIOR



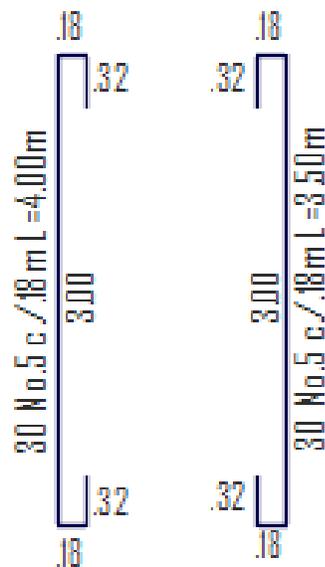
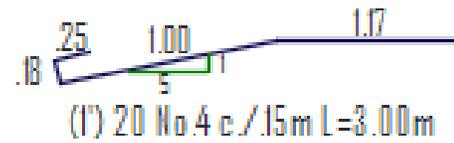
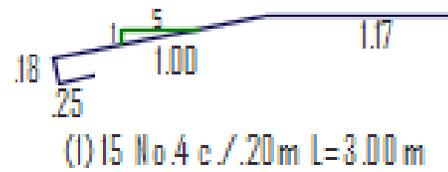
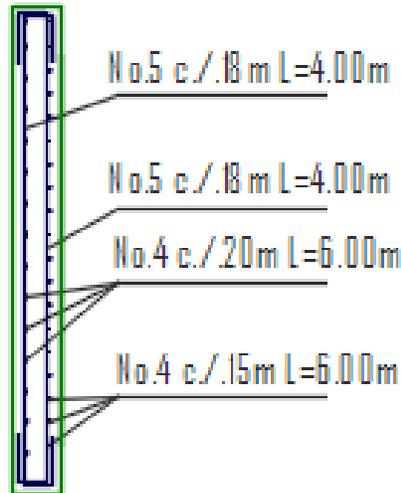
# REFUERZO LOSA INFERIOR



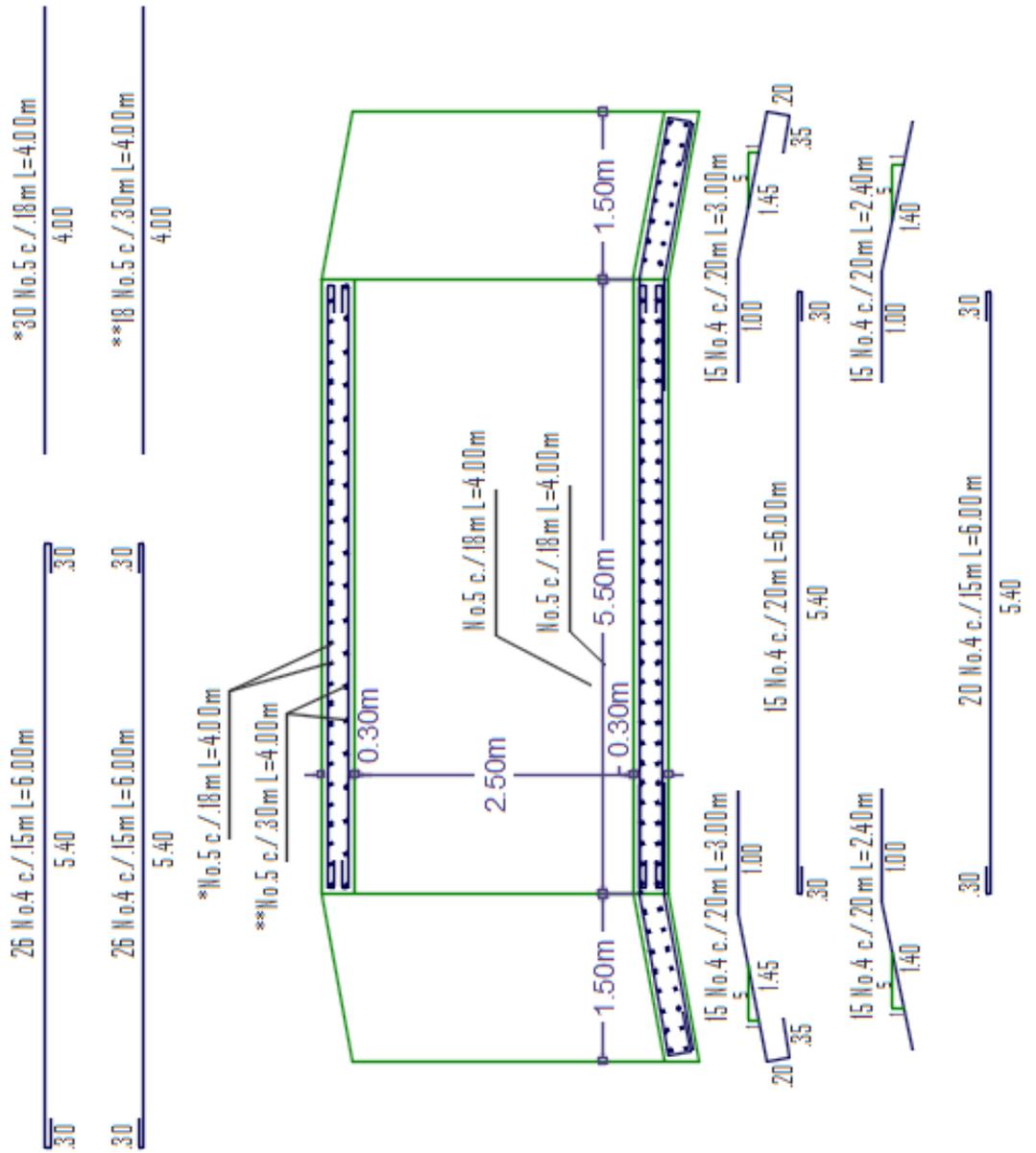
# REFUERZO (MURO) VIGA-CAJÓN



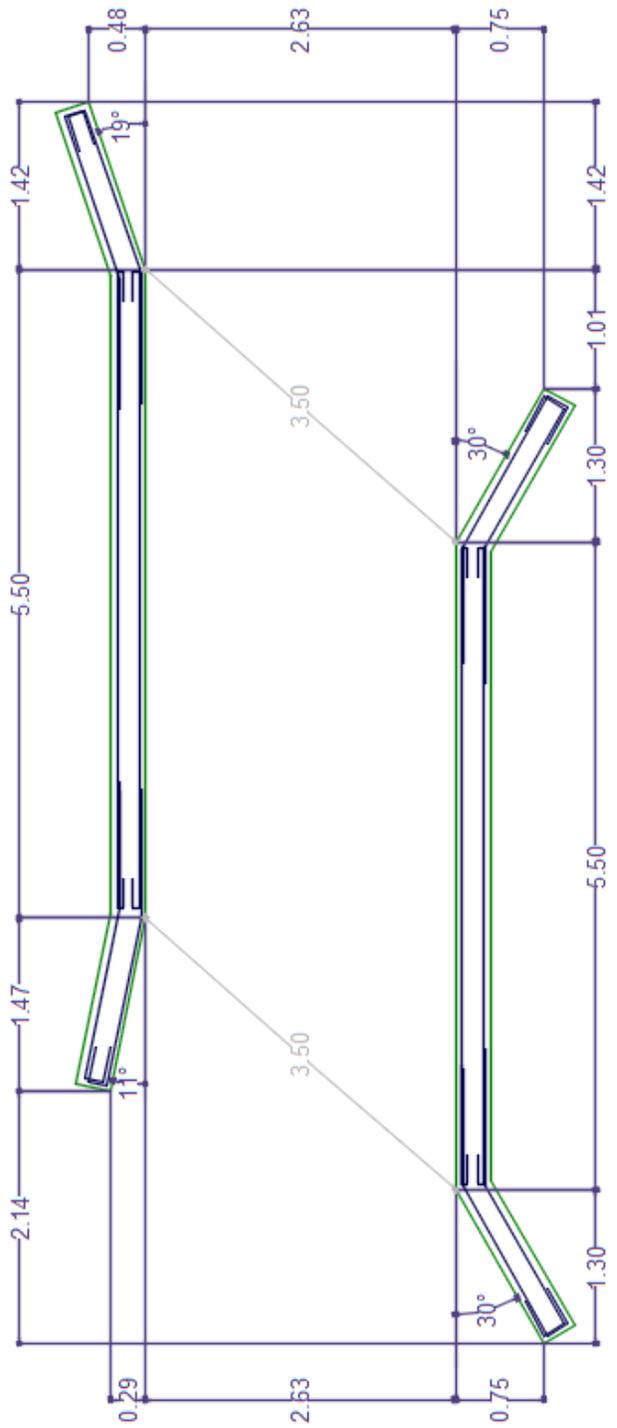
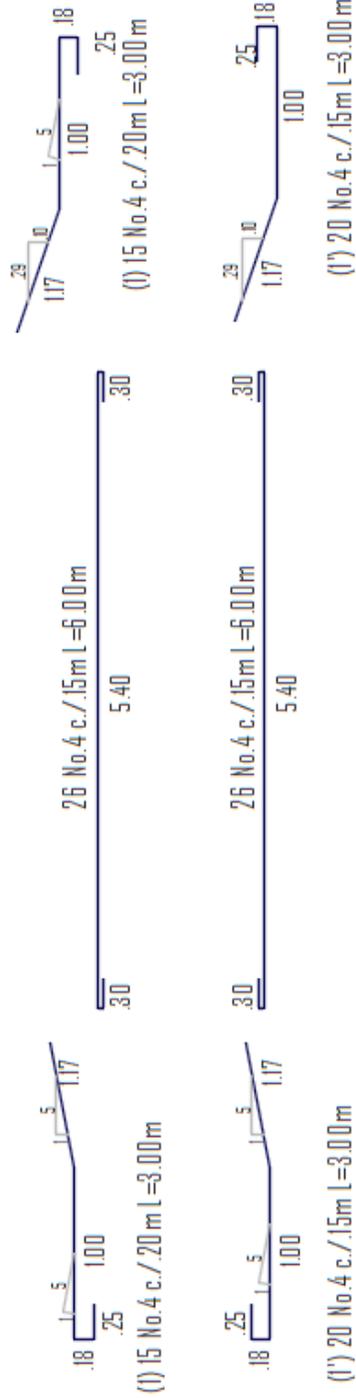
# REFUERZO (MURO) ALETA

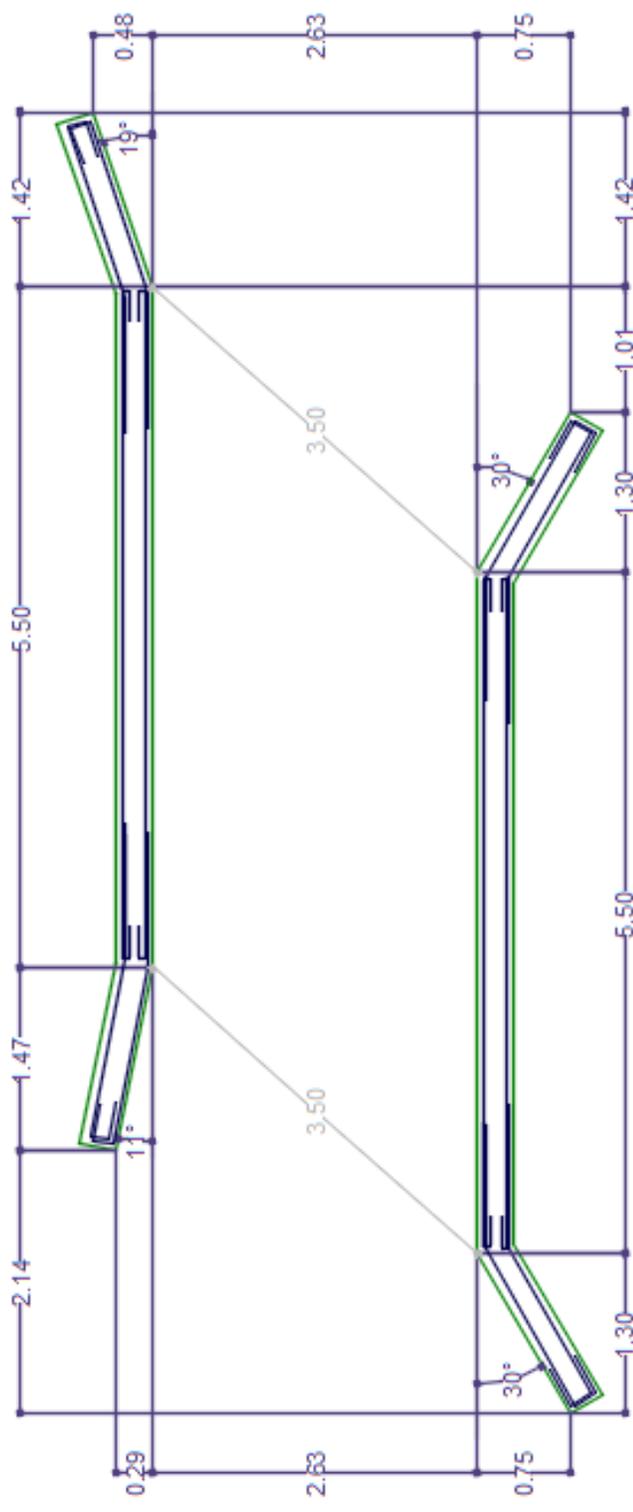


# REFUERZO CORTE LONGITUDINAL



# REFUERZO VISTA EN PLANTA

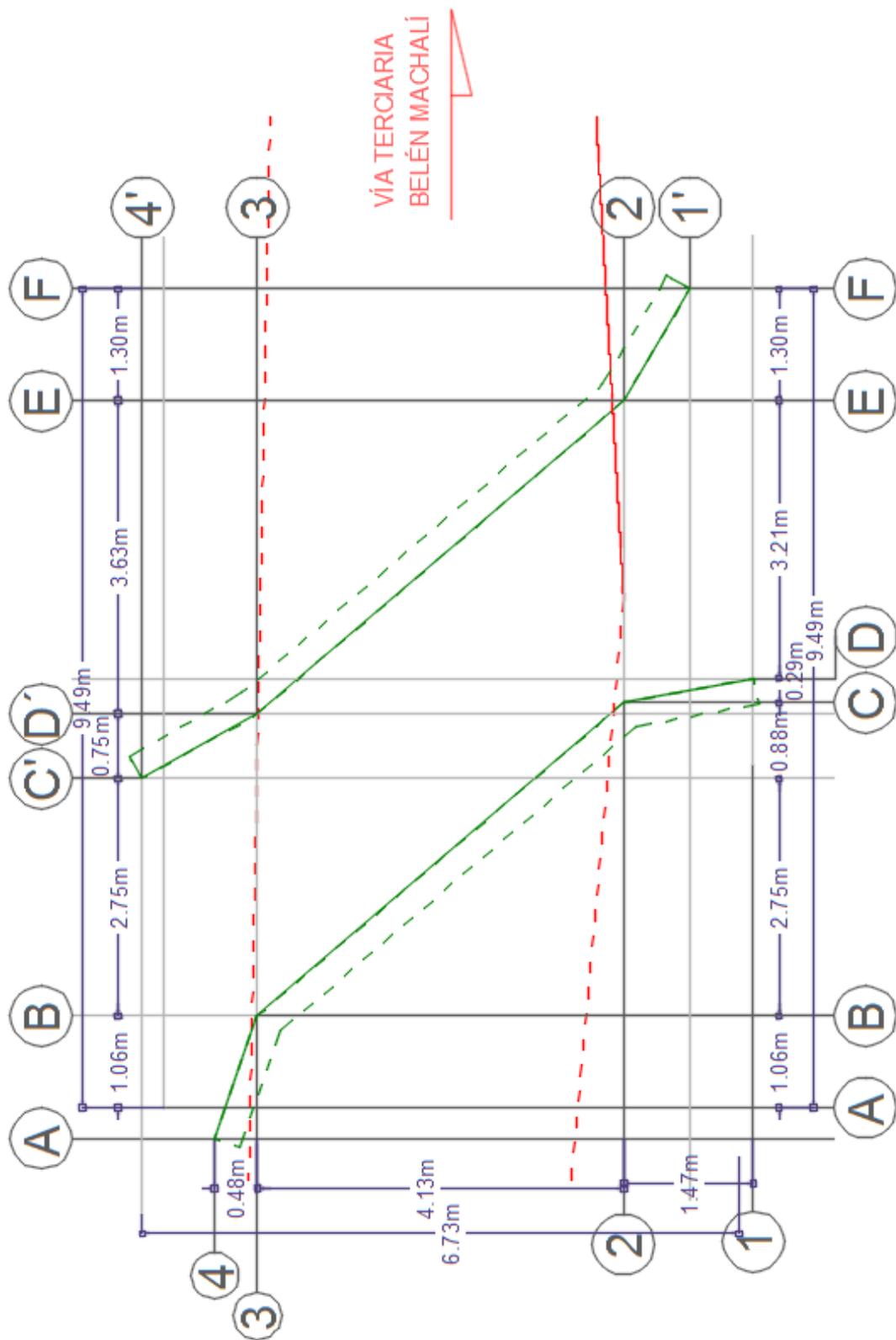




(1) 15 No.4 c/.20m L=3.00m



(1') 20 No.4 c/.15m L=3.00m



## 7. CONCLUSIONES

Conforme a la inspección visual de la alcantarilla ubicada en el K3+250, ésta se encuentra en un grado de deterioro alto. Su desempeño es insuficiente, por lo que debe ser reemplazada por una de mayor capacidad.

La reducción brusca de la sección del canal natural por donde fluye la quebrada Malachi 10 metros aguas debajo de la alcantarilla existente, produce un resalto hidráulico que ocasiona un cambio en el flujo, de supercrítico a Subcrítico. Esto a su vez, provoca la erosión y socavación del terreno de la vivienda de la familia Rodríguez, y la remoción de rocas de gran tamaño.

Se estima que en época de lluvia la profundidad hidráulica aumente hasta 2.40m en el descole de la alcantarilla. Profundidad que se evidencia en la ladera del cauce que colinda con el predio de la familia Rodríguez.

La alternativa propuesta por el INVIAS para vías terciarias de emplear una batea en concreto donde fluye la quebrada sobre ella, no cumpliría con las condiciones de diseño; ya que ésta es suficiente para láminas de agua inferiores a 30 cm y este caso supera la condición.

Aunque la quebrada MALACHÍ, se encuentra casi seca en el momento del estudio, se evidenció un depósito de rocas con tamaños de hasta 1.0 m, por lo que se presume una corriente de gran velocidad y capacidad de arrastre.

El funcionamiento de la alcantarilla cuadrada diseñada en este informe es a tubo abierto, es decir la lámina de agua no llene la sección (tubo ahogado), con el fin de que la remoción de sedimentos (rocas grandes) no imposibilite el flujo.

## 8. RECOMENDACIONES

Se recomienda reemplazar la alcantarilla ubicada en el K3+250, de la vía terciaria que comunica los municipios de Agua de Dios y Nilo, ubicada en el cruce de la quebrada MALACHÍ, conforme a los diseños propuestos en este informe y con las indicaciones del juego de planos que se adjunta.

Para disminuir el resalto hidráulico que se forma en los linderos de la vivienda de la familia Rodríguez, se recomienda dragar el canal garantizando una sección constante con el propósito de mantener el flujo crítico y permanente.

La obra de drenaje más recomendable para las condiciones de la vía terciaria en la abscisa K3+250 es la de una alcantarilla cuadrada tipo Culvert, con las dimensiones de 2.00 m de altura interna y 3.50 m de ancho interno.

La alcantarilla cuadrada (Box Culvert) debe construirse en concreto hidráulico de 3500 psi (Resistencia a la compresión) y debe estar reforzado con acero de 60000 psi (Resistencia a la tracción), con la distribución indicada en los planos adjuntos.

El vehículo de diseño es el contemplado en las normas de Puentes actualizadas en el año 2014. (Ver memoria de cálculo)

El box Culvert debe estar construido en longitudinalmente y paralelo al flujo de la quebrada MALACHÍ. (Ver planos)

No es recomendable la construcción de la batea en vez del box Culvert, ya que sería insuficiente su desempeño.

## BIBLIOGRAFÍA

CONSORCIO ALFA, Manual de drenaje para Carreteras, Revisado y Publicado por Instituto Nacional de Vías, Colombia, diciembre de 2009.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Norma Colombiana de Diseño de Puentes, Revisado y Publicado por Instituto Nacional de Vías, Colombia, 2014

ALCAZAR LTDA, Especificaciones para construcción de Carreteras, Revisado y Publicado por Instituto Nacional de Vías, Colombia, 15 de agosto de 2007

GRUPO TÉCNICO CONVENIO 587 DE 2003, Manual de inspección de drenajes, Revisado y Publicado por Instituto Nacional de vías, Colombia, octubre de 2006.

VEN TE CHOW, Hidráulica de canales abiertos, Mac Graw Hill, impreso en Colombia, mayo 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC), Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación, NTC 1486, Colombia, julio 23 de 2008, 36 p.

**ANEXO A**  
(LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO)

**ANEXO B**  
(PLANO DE DESPIECES DE LA ESTRUCTURA)

**ANEXO C**  
(MEMORIAS, INFORME Y PRESENTACIÓN EN MEDIO MAGNÉTICO)

## ANEXO D

(UBICACIÓN MEDIANTE GOOGLE MAPS DE LA ZONA DONDE SE DESARROLLA EL PROYECTO)

