

DIPLOMADO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PUENTES Y TUNELES
PEREIRA-RISARALDA (COLOMBIA)

"DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE UN BOX-CULVERT PARA
INTERVENIR UN TRAMO DE LA QUEBRADA LA DULCERA"

ING. ADAN SILVESTRE GUTIERREZ
PROFESOR ASESOR

PRESENTADO POR:

BRENDA LISSETH MARTÍNEZ CATAÑO
JOHN HAROL GIRALDO CASTAÑO
JORGE NEVIO GONZALEZ
LUISA MARIANA TOBÓN AGUDELO

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
2015

A Dios, nuestros padres, demás familiares, amigos y compañeros que nos acompañaron y apoyaron emocional y materialmente en este proceso.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	12
1.1. OBJETIVO GENERAL	12
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2.1 LOCALIZACIÓN	13
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
2.3 JUSTIFICACIÓN	17
3. MARCO TEÓRICO	18
3.1 GENERALIDADES	18
3.2 EVOLUCIÓN	18
3.3 TIPOS, DISEÑO Y DIMENSIONES	19
3.4 FUNCIONALIDAD Y UBICACIÓN	20
3.5 INSTALACIÓN	21
3.6 DRENAJE TRANSVERSAL DE LA CARRETERA	21
3.6.1 Elección del tipo de alcantarilla.	22
3.7 NORMAS APLICABLES:	23
3.8 ANTECEDENTES	24
3.8.1 Proyectos.	25
4. MATERIALES Y MÉTODOS	28
4.1 ELECCIÓN BOX CULVERT PARA ESTE DISEÑO	28

4.2	MATERIALES	29
4.2.1	Espesores mínimos.	29
4.2.2	Refuerzo.	29
4.2.3	Recubrimientos.	30
4.3	DISEÑO ESTRUCTURAL	30
4.3.1	Cargas de diseño.	30
4.3.3	Control de agrietamiento.	32
4.3.4	Memoria de cálculos.	33
4.3.5	Planos estructurales.	33
4.4	METODOLOGÍA	35
4.4.1	Estudios previos al diseño de alcantarillas.	35
5.	DESARROLLO DEL PROYECTO	40
5.1	MEMORIA DE CALCULOS	40
5.1.1	ESTUDIO HIDROLOGICO	40
5.1.2	ESTUDIO HIDRÁULICO	41
5.1.3	CARGAS	41
5.2	MODELO MATEMÁTICO UTILIZANDO EL PROGRAMA STAAD.PRO V8i	49
6.	CONCLUSIONES	60
	BIBLIOGRAFÍA	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones Box Culvert prefabricados	19
Tabla 2. Curvas IDF	36
Tabla 3. Periodos de retorno o grados de protección	37
Tabla 4. Velocidades máximas permisibles	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la construcción del box Culvert, quebrada La Dulcera.	13
Figura 2. Vía sector La Dulcera	14
Figura 3. Estado de la quebrada La Dulcera	15
Figura 4. Estado de la quebrada La Dulcera	15
Figura 5. Área de influencia de la quebrada La Dulcera	16
Figura 6. Área quebrada La Dulcera	16
Figura 7. Box Culvert prefabricado	20
Figura 8. Forma y sección de una alcantarilla	22
Figura 9. Box Culvert en la vereda de Mérida, Departamento de Santander.	26
Figura 10. Construcción box Culvert en ciudad de Villavicencio	27
Figura 11. Alcantarilla en trinchera	28
Figura 12. Posición de carga para el Box Culvert N°1	43
Figura 13. Posición de carga para el Box Culvert N°2	43
Figura 14. Posición de carga para el Box Culvert N°3	44
Figura 15. Posición de carga para el Box Culvert n°4	44
Figura 16. Geometría de un Box Culvert	46
Figura 17. Posición de refuerzo de la viga	48
Figura 18. Coordenadas iniciales modelado programa STAAD.PRO V8i	49
Figura 19. Unión de nodos con elementos viga	50
Figura 20. Adición de nodos para chequeo por el método de elementos finitos	50
Figura 21. Dimensionamiento de los elementos y determinación del material	51
Figura 22. Render en 3D de la estructura	52
Figura 23. Apoyos y sus respectivas restricciones y libertades	52
Figura 24. Adición de carga por peso propio	53
Figura 25. Carga por empuje vertical del suelo	54
Figura 26. Carga viva	54
Figura 27. Carga por empuje lateral del suelo	55
Figura 28. Combinación de cargas	56
Figura 29. Chequeo de diseño	56
Figura 30. Chequeo de estática	57
Figura 31. Diagrama de cortante y valores	58
Figura 32. Diagrama de momentos y valores	58

GLOSARIO

AASTHO: American Association of State Highway and Transportation Officials.¹

ALCANTARILLADO: f. Acueducto subterráneo, o sumidero, fabricado para recoger las aguas llovedizas o residuales y darles paso.² Una alcantarilla es una obra de fábrica destinada a evacuar las aguas residuales domesticas u otro tipo de aguas usadas.³

BOX CULVERT: o alcantarilla en cajón.

CANAL: Una construcción que puede ser natural o artificial destinada al transporte de todo tipo de fluidos.³

CAÑO: conducto de aguas residuales.²

CARGA MUERTA: carga permanente, carga vertical aplicada sobre una estructura que incluye el peso de la misma estructura más la de los elementos permanentes.³

CARGA VIVA: carga variable, Carga externa, movable sobre una estructura que incluye el peso de la misma junto con el mobiliario, equipamiento, personas, etc., que actúa verticalmente.³

CAUDAL: Cantidad de un líquido o un gas que fluye en un determinado lugar por unidad de tiempo.²

CONCRETO REFORZADO: o armado, en su interior tiene armaduras de acero, debidamente calculadas situadas. Este concreto es apto para resistir esfuerzos de tracción y compresión.³

DEFLEXIÓN: Desviación de la dirección de una corriente.²

DRENAJE: Medio o utensilio que se emplea para drenar.³

EROSIÓN: Desgaste de la superficie terrestre por agentes externos, como el agua o el viento.²

¹AASHTO. (s.f.). *TRANSPORTATION*. Obtenido de <http://www.transportation.org/Pages/Default.aspx>

² Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la Real Academia Española* (22 ed.). Madrid, España.

³Academia. (s.f.). Obtenido de http://www.academia.edu/7799970/GLOSARIO_DE_TERMINOS_Ingenier%C3%ADa_civil

ESCURRIMIENTO: relación entre la lámina de agua precipitada sobre una superficie y la lámina de agua que escurre superficialmente.

HIDRÁULICA: Parte de la mecánica que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos.⁴

HIDROLOGÍA: Parte de las ciencias naturales que trata de las aguas.⁴

IN SITU: En el lugar, en el sitio.⁴

JUNTA DE CONSTRUCCIÓN: Junta rígida, inamovible, que se establece entre dos partes contiguas de una construcción.⁵

JUNTA DE DILATACIÓN: se utilizan para evitar el agrietamiento debido a cambios dimensionales térmicos en el concreto.⁵

JUNTA DE TRABAJO: junta o discontinuidad formada cuando una superficie de hormigón fragua antes de que se vierta la siguiente amasada.⁵

MODELO: Arquetipo o punto de referencia para imitarlo o reproducirlo.⁴

MOMENTO: Magnitud resultante del producto del valor de una fuerza por su distancia a un punto de referencia.⁴

PERIODO DE RETORNO: tiempo medio entre dos avenidas con caudales iguales o superiores a uno determinado.

PRECIPITACIÓN: es una parte importante del ciclo hidrológico, llevando agua dulce a la parte emergida de la corteza terrestre.

PREFABRICADO: Construcción cuyas partes esenciales se fabrican enteras y son Montadas en el lugar de su emplazamiento.

PRESIÓN: Magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie. Su unidad en el Sistema Internacional es el pascal.⁴

PUENTE: Construcción de piedra, ladrillo, madera, hierro, hormigón, etc., que se construye y forma sobre los ríos, fosos y otros sitios, para poder pasarlos.⁴

⁴ Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la Real Academia Española* (22 ed.). Madrid, España.

⁵ *Academia*. (s.f.). Obtenido de http://www.academia.edu/7799970/GLOSARIO_DE_TERMINOS_Ingenier%C3%ADa_civil

QUEBRADA: Arroyo o riachuelo que corre por una quiebra.⁴

SOCAVACIÓN: Excavar por debajo algo, dejándolo en falso.⁴

STADD PRO v8i: Software de Ingeniería para el Diseño 3D y Análisis estructural.⁶

TOPOGRAFÍA: Arte de describir y delinear detalladamente la superficie de un terreno.⁷

TUBERÍA: f. Conducto formado de tubos por donde se lleva el agua, los gases combustibles, etc.⁷

TÚNEL: Paso subterráneo abierto artificialmente para establecer una comunicación.⁷

VERTIMIENTOS: acción y efecto de verter: Dicho de una corriente de agua: Desembocar en otra.⁷

⁶ Bentley. (s.f.). *Bentley*. Recuperado el 4 de feb de 2015, de <http://www.bentley.com/en-US/Products/STAAD.Pro/>

⁷ Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la Real Academia Española* (22 ed.). Madrid, España.

RESUMEN

A través del tiempo los Box Culvert han ido evolucionando desde ser una simple estructura utilizada como alcantarilla, hasta llegar a ser una estructura que puede ser utilizada como paso de agua, como túnel, para contener taludes e inclusive para utilizarse como puente.

La idea de este trabajo es proporcionar una posible solución a una problemática existente en un sector de la ciudad de Pereira más exactamente en un punto de la quebrada llamada “La Dulcera”, que presenta ciertos problemas de salubridad pública y restringe el paso vehicular y peatonal a los habitantes del sector. Para ello se aplican los conocimientos adquiridos durante el “Seminario de Análisis, Diseño y Construcción de Puentes y Túneles “, donde se presenta un ejemplo de diseño o modelo matemático realizado con el programa de análisis y diseño STAAD PRO V8i.

PALABRAS CLAVES: Túnel, Box-Culvert, alcantarilla tipo cajón, sistemas de drenaje de carreteras, obras de drenaje.

ABSTRACT

Beyond time, the Box Culvert have been evolving coming from a simple structure used as a sewer, to become into a structure that can be used as a water passage or like a tunnel or to contain slopes even it could be used as a bridge.

The present work aims to give a possible solution to an existing problematic in a sector of Pereira City, more exactly in a point of the brooked called “La Dulcera”, this creek presents some public salubrity problems and it restricts the normal vehicular and pedestrian flow to the people of the sector. To solve this problem, the team will apply the knowledge acquire during the Analysis, Design and Construction of Bridges and Tunnels Seminary, more ever will present an example of design o math model from an analysis and design called STAAD PRO V8i.

KEYWORDS: Tunnel, Box Culvert, Sewerage, Sewage system, drainage, drain, roads, pathways.

INTRODUCCIÓN

Con el fin de practicar y validar los conocimientos adquiridos en el seminario de “Túneles Y Puentes” es necesario realizar una monografía donde se proponga solucionar un problema determinado mediante un túnel o un puente.

Para afrontar dicho reto se ha decidido diseñar y calcular una estructura tipo cajón o tipo túnel con el software “STAAD PRO v8i” con el fin de canalizar un tramo de la quebrada “La Dulcera” ubicada en el casco urbano de la ciudad de Pereira dando solución a una serie de circunstancias anómalas que acontecen sobre la banca de dicha quebrada.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer una solución a los asentamientos a lo largo de la quebrada “La Dulcera” en la ciudad de Pereira, diseñando un ejemplo práctico aplicativo de Box-Culvert mediante el software STADD PRO v8i.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer los componentes de un Box-Culvert
- Diseñar y calcular manualmente un Box Culvert
- Modelar un ejemplo práctico mediante el software STADD PRO v8i
- Analizar los resultados que arroje el software.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

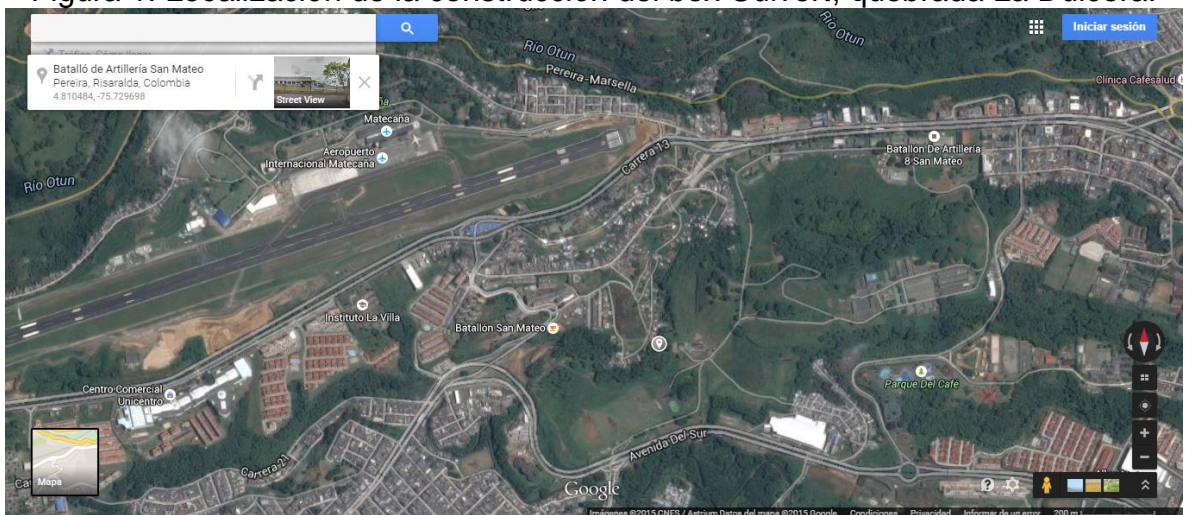
2.1 LOCALIZACIÓN

La quebrada La dulcera pertenece al subsistema hídrico del río Consota. Su cauce comprende desde Comunas universidad, Boston, San Nicolás, El jardín, Sector San Mateo, hasta Cuba, desde el barrio La Enseñanza hasta Las Brisas del Consota.

La ubicación del Box Culvert es aproximadamente a la altura del Batallón de Artillería San Mateo, teniendo inicio aproximadamente en las siguientes coordenadas:

4.810640 – 75.729711

Figura 1. Localización de la construcción del box Culvert, quebrada La Dulcera.



Fuente: Google earth

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La quebrada La Dulcera está presentando un alto grado de afectación y depreciación debido al asentamiento de familias de escasos recursos a lo largo de la ribera de la quebrada.

Dichos asentamientos generan riesgos como: sobrecarga en los terrenos de las laderas, vertimiento de aguas residuales a la quebrada, basureros, deforestación, malos olores y propagación de insectos y roedores. Las basuras y los residuos sólidos aumentan el caudal produciendo socavación y erosión; las familias más vulnerables son las más próximas a la quebrada, ubicándose sobre laderas, en viviendas mal cimentadas y con procesos constructivos que generan riesgos.

Figura 2. Vía sector La Dulcera



Fuente: propia

Figura 3. Estado de la quebrada La Dulcera



Fuente: propia

Figura 4. Estado de la quebrada La Dulcera



Fuente: propia

Figura 5. Área de influencia de la quebrada La Dulcera



Fuente: propia

Figura 6. Área quebrada La Dulcera



Fuente: propia

2.3 JUSTIFICACIÓN

Los box Culvert generalmente se construyen con el fin de minimizar los procesos de erosión natural, de reducir la sinuosidad de las quebradas y buscando la protección de algunas estructuras o construcciones existentes.

Con la construcción del box Culvert en esta quebrada se busca corregir toda la problemática planteada y además se puede dar soluciones de movilidad vial, ya que la red vial de la ciudad de Pereira presenta escasez en vías transversales.

Con este proyecto se busca contribuir al mejoramiento del espacio público y de la calidad de vida de los habitantes del sector.

De lo contrario, la quebrada seguirá causando problemas a la comunidad, ya sea por los altos grados de contaminación que contribuyen en la aparición de enfermedades respiratorias, la pérdida sistemática de fauna y flora por deforestación y la generación de riesgos (inundaciones y deslizamientos).

3. MARCO TEÓRICO

3.1 GENERALIDADES

Los Box Culvert, o Coulvert, simplemente alcantarillas tipo cajón son elementos diseñados para proyectos rigurosos donde se requiere rapidez y facilidad de instalación. Como su nombre lo indica, ésta es una estructura en forma de caja o cajón generalmente construida en concreto reforzado. La caja puede cumplir la función de tubería-túnel en su interior y/o puente en su superficie. Las altas demandas de sus aplicaciones han hecho que los Box Culvert sean estructuras con muy buenas características de resistencia, deformabilidad y duración.

Aunque sean elementos variables, pueden ser utilizados para conducción de fluidos, de puentes, túneles de servicio, pasos subterráneos, transporte de material, entre otros. Por otra parte pueden ser fabricados con diversas dimensiones.

Este tipo de elementos son gran utilidad cuando requieren de estructuras de conducción con profundidades limitadas; aprovechando su ancho y restringiendo el alto, también cuando se presentan situaciones difíciles de excavación.

3.2 EVOLUCIÓN

En un principio, las obras de drenaje se llamaban alcantarillas, y se utilizaban tres formas geométricas para su construcción: circular, rectangular y abovedada. Las circulares, estaban constituidas por tubos de concreto reforzado para poder reducir su sección. Las rectangulares, más conocidas como obras de paso, podían tener dimensiones mayores a las de los tubos. Finalmente, las abovedadas, realizadas comúnmente de ladrillo, alcanzaban grandes dimensiones, hasta incluso tener la envergadura de puentes pequeños. Posteriormente se utilizó la varilla de acero, el cual permite tanto las formas circulares como las abovedadas.

En la actualidad predominan las obras de drenaje realizadas en hormigón armado, tanto circulares como rectangulares (marcos) o abovedadas (bóvedas), construidas bien in situ o bien prefabricadas.

3.3 TIPOS, DISEÑO Y DIMENSIONES

Los drenajes vienen en varias formas y medidas, incluyendo las redondas, elípticas, de fondo plano, en forma de pera o de caja.

Los box se diseñan y construyen con especificaciones ideales y necesarias para cada proyecto, en donde se tiene en cuenta la geotecnia, cargas y necesidades de la obra.

La cimentación se diseña dependiendo de las condiciones del suelo, la relación que hay entre las cargas utilizadas y la resistencia que brinda el box Culvert.

Las dimensiones son dependiendo de la tecnología utilizada se desprenden variedad de dimensiones, que brindan la posibilidad de fabricar elementos con anchos entre 1.8m y 3.6m con alturas de 0.90m y 3.6m con longitudes hasta de 2.5m Algunas dimensiones distintivas son:

Tabla 1. Dimensiones Box Culvert prefabricados

ITEM	ANCHO (mm)	ALTO (mm)	ESPESOR (mm)
1	1800	900	175
2	2100	1200	200
3	2100	1800	200
4	2400	1200	200
5	2400	1800	200
6	2400	2100	200
7	2700	2700	225
8	3000	1800	250
9	3000	2100	250

Fuente: <https://prefabricadosdeconcreto.wordpress.com/2009/07/25/box-culverts-prefabricados/>

Los Box Culvert prefabricados en concreto, son fabricados con elementos de gran tamaño elaborados en concreto reforzado, están compuestos por un sistema modular en el que cada parte se conecta con el otro formando un túnel, ya que cada elemento se empalma con el otro mediante un espigo, el cual lleva incorporado un sellante (bituminoso (Mastic), que si se presiona forma un sello hidráulico hermético. Por lo regular estos son de forma rectangular y sus tamaños varían de acuerdo a la aplicación.⁸

⁸ prefabricados de concreto. (25 de Jul de 2009). *Box culverts prefabricados*. Recuperado el 28 de Ene de 2015, de (Box culverts [phttps://prefabricadosdeconcreto.wordpress.com/2009/07/25/box-culverts-prefabricados/](https://prefabricadosdeconcreto.wordpress.com/2009/07/25/box-culverts-prefabricados/))

Figura 7. Box Culvert prefabricado



Fuente: Poste by jeyances

3.4 FUNCIONALIDAD Y UBICACIÓN

Las obras de drenaje se construyen de acuerdo al caudal de referencia que se espera que reciban (establecido por el período de retorno) y al riesgo de obstrucción que pueda presentarse por los cuerpos arrastrados por la corriente. El buen funcionamiento de una obra de drenaje se basa en que la velocidad del agua en su interior no supere el umbral que provoque al desaguar la erosión del cauce, que el nivel del agua no alcance la infraestructura lineal que atraviesa el cauce, y que la inundación que provoca la disposición de la obra de drenaje sea admisible (no tenga consecuencias catastróficas).

Su ubicación es en Los ríos, arroyos, barrancos, vaguadas, etc., son interceptados por las obras lineales; es por tanto lógico que la disposición de las obras de drenaje se efectúe en cada una de las interrupciones que se produzcan sobre la

red de drenaje natural existente en el terreno. De esta manera, se restituye el funcionamiento natural de los cauces con la mínima interferencia posible.

Al margen de la geometría del cauce, y de las formas de su recorrido, las obras de drenaje cruzan las infraestructuras lineales con su eje en dirección recta, ya sea perpendicular o esviada respecto a la carretera, tratando de hacer coincidir el desagüe con el cauce natural. En lo que respecta a la pendiente interior del conducto, las obras de drenaje se suelen construir tratando de ajustarse al perfil longitudinal del lecho del cauce.

3.5 INSTALACIÓN

Los box Culvert son fabricados con un sistema que admite su manipulación durante el transporte e instalación. Siempre y cuando los equipos utilizados en obra tengan capacidad de peso, para efectos de excavación, montaje y demás.

Las juntas o uniones pueden ser de diferentes condiciones, dependiendo del uso que se le establezca al box. Hay tipos de juntas tales como espigo, campana, que permiten un ajuste perfecto entre sus elementos.⁹

3.6 DRENAJE TRANSVERSAL DE LA CARRETERA

El drenaje transversal de la carretera se consigue mediante alcantarillas cuya función es proporcionar un medio para que el agua superficial que escurre por cauces naturales o artificiales de moderada importancia, en forma permanente o eventual, pueda atravesar bajo la plataforma de la carretera sin causar daños a ésta, riesgos al tráfico o a la propiedad adyacente. Se entiende por alcantarilla una estructura de drenaje cuya luz mayor, medida paralela al eje de la carretera, sea de hasta 6 m; La alcantarilla debe ser capaz de soportar las cargas del tráfico en la carretera, el peso de la tierra sobre ella, las cargas durante la construcción, etc., es decir, también debe cumplir requisitos de tipo estructural.¹⁰

⁹Castaño, J. (s.f.). *Box-Culvert*. Recuperado el 28 de Ene de 2015, de <http://www.aluindustrial.com/index.php/alcantarillado/68-box-culvert.html>

¹⁰ GONZALES MERCHAN, G. A., & DE CASTRO PASSEGA, J. M. (ABRIL de 2010). *ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION DE ESFUERZOS VERTICALES EN RELLENOS COMPACTADOS EN COMPARACION CON LA ESTABLECIDA EN EL CCDSP-95*.

UBICACIÓN, ALINEACIÓN Y PENDIENTE DE LAS ALCANTARILLAS

La adecuada elección de la ubicación, alineación y pendiente de una alcantarilla es importante, ya que de ella depende su comportamiento hidráulico, los costos de construcción y mantenimiento, la estabilidad hidráulica de la corriente natural y la seguridad de la carretera.¹¹

En general, se obtiene la mejor ubicación de una alcantarilla cuando ésta se proyecta siguiendo la alineación y pendiente del cauce natural, ya que existe un balance de factores, tales como, la pendiente del cauce, la velocidad del agua y su capacidad de transportar materiales en suspensión y arrastre de fondo.

3.6.1 Elección del tipo de alcantarilla.

3.6.1.1 Forma y Sección.

Las alcantarillas rectangulares se diseñan para evacuar grandes caudales y pueden acomodarse con cambios de altura, a distintas limitaciones que puedan existir, tales como alturas de terraplén o alturas permisibles de agua en la entrada.

Figura 8. Forma y sección de una alcantarilla



Fuente: propia

¹¹ MOPC. (s.f.). *Ministerio de obras publicas y comunicaciones*. Recuperado el 04 de 2015, de Modulo III-B diseño de obras viales; VOLUMEN I Especificaciones Técnicas Generales: <http://www.mopc.gov.py/mopcweb/pdf/1278/anexo%20a4%20-%20et%20hidrologia%20e%20hidraulica.pdf>

3.7 NORMAS APLICABLES:

Las siguientes especificaciones se aplican para las secciones de Box Culvert prefabricados:

NTC 5558 Bandas sellantes para juntas de tuberías y box Culvert

NTC 5672 Secciones rectangulares prefabricadas de concreto reforzado "box Culvert" para alcantarillados de aguas lluvias y aguas servidas

ASTM C1433 standard specification for precast reinforced concrete monolithic box sections for culverts, storm drains, and sewers

ASTM C1577 standard specification for precast reinforced concrete monolithic box sections for culverts, storm drains, and sewers designed according to aashto (Ciprecon)

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures. ACI 350-06.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Report Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures. ACI 350.3-06.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Normas Colombianas de diseño y Construcción Sismo resistente. Bogotá:

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO.

3.8 ANTECEDENTES

Como solución para conducción de aguas residuales y sistemas de control de agua en pasos naturales que cruzan proyectos viales, las estructuras enterradas han resultado ser buenas alternativas. La más popular de estas es el Box Culvert, estructura ampliamente utilizada en la conducción de fluidos (tubería-túnel).

Actualmente, hay estudios sobre su comportamiento y respuesta ante distintas solicitaciones. En 1990 se completó un estudio en la Universidad de Nebraska en Estados Unidos en el cual se instrumentó un Box Culvert de doble canal sometido a distintas condiciones de carga viva y de alturas de relleno variables. Los resultados mostrados por el estudio relacionan la validez de los datos con modelaciones obtenidas en computador y evalúan algunas consideraciones que presenta la normativa AASTHO Estándar para el diseño de estas estructuras.¹²

En Colombia se han utilizado este tipo de estructuras durante las últimas dos décadas. En 1994 se publicó el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes que contiene un capítulo de estructuras enterradas, las consideraciones para el diseño y construcción de éstas. Tanto la AASTHO como el CCDSP-95 utilizan expresiones y consideraciones empíricas para cuantificar la disipación de esfuerzos generados por la carga viva a la que están expuestas estas estructuras.

Hay varios estudios acerca de cómo las estructuras enterradas sienten el efecto de la carga viva que aunque demuestran un conocimiento bastante avanzado acerca del comportamiento y respuesta sigue siendo una incertidumbre para los diseñadores el poder conocer las condiciones exactas a las que son sometidas éstas. Algunos de los trabajos realizados son estos.

- Lawrence C Rude trabajó en la reducción de cargas para tuberías enterradas. Lawrence estudió la influencia del tamaño, la forma, la posición y la composición de los materiales de relleno en la reducción las cargas a la que las tuberías enterradas se encuentran expuestas. El resultado de esta investigación muestra que es posible obtener reducciones importantes de las cargas impuestas en superficie si se conoce bien las propiedades elásticas de los materiales de relleno, argumenta que el conocimiento de esta información permite una solución analítica más confiable que la que presentan las cartas de diseño, que generalmente son basadas en situaciones ideales.

¹² GONZALES MERCHAN, G. A., & DE CASTRO PASSEGA, J. M. (ABRIL de 2010). *ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION DE ESFUERZOS VERTICALES EN RELLENOS COMPACTADOS EN COMPARACION CON LA ESTABLECIDA EN EL CCDSP-95.*

- En Noviembre de 1990 se termina un trabajo patrocinado por la Universidad de Nebraska en Estados Unidos en el cual se instrumenta un Box Culvert de doble canal para presión de suelo, momentos y deflexiones. Esta investigación pretendía describir a gran escala la medición y el comportamiento y respuesta estructural del Box Culvert frente a cargas de suelo y cargas vehiculares. Estudios similares a éste son realizados por Arockiasamy donde se estudiaron tuberías de distintos materiales y distintos diámetros sometidas a cargas vehiculares. Se utilizaron simulaciones numéricas para determinar la respuesta del sistema suelo-tubería bajo la aplicación de cargas vivas. El resultado de este estudio mostró que en general las tuberías flexibles que se encuentran embebidas con una adecuada compactación de material limo-arenoso bien gradado exhiben buen desempeño sin presentar fisuras o separación de juntas visibles.
- Estudios sobre modelos físicos instrumentados a escala natural de la interacción suelo- estructura en la cimentación de una tubería rígida y una flexible fueron desarrollados en Colombia en el año 2006 en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá. Se aplicó una fuerza en dirección vertical sobre la tubería enterrada y se midieron las cargas y desplazamiento horizontales y verticales, tanto del terreno como de las tuberías, en diferentes puntos del modelo.¹³

3.8.1 Proyectos.

“Gobierno municipal entregó Box Culvert en la vereda Mérida en el Departamento de Santander”

Después de los problemas ocasionados por el invierno, y debido a la incomunicación que resultó entre los habitantes con la capital del departamento, se favoreció la vía que conduce a la vereda Mérida, con una de las soluciones más adecuadas, como la construcción de un BOX CULVERT ubicado frente a la hacienda Miraflores. Esta vía hace parte de una red vial terciaria y secundaria, que necesitaba habilitación.¹⁴

Para esta construcción del Box Culvert el ‘Gobierno local, invirtió cerca de 30 millones pesos.

¹³ GONZALES MERCHAN, G. A., & DE CASTRO PASSEGA, J. M. (ABRIL de 2010). *ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION DE ESFUERZOS VERTICALES EN RELLENOS COMPACTADOS EN COMPARACION CON LA ESTABLECIDA EN EL CCDSP-95.*

¹⁴ Provincia de Soto y Mares. (s.f.). *espacio en la red para municipios de las provincias de Soto y Mares en el departamento de Santander, Colombia.* Recuperado el 5 de Feb de 2015, de Provincia de Soto y Mares: <http://sotonorte.blogspot.com/>

Figura 9. Box Culvert en la vereda de Mérida, Departamento de Santander.



Fuente: <http://sotonorte.blogspot.com/>

“Proyecto box Culvert ciudad de Villavicencio, Departamento del Meta”.

El objetivo de este proyecto es la corrección del cauce del caño la Cristalina de la ciudad de Villavicencio. De acuerdo a la planificación actual del proyecto, se han construido 31 módulos de sección de box Culvert de longitud promedio de 11 metros lineales para un total de 341 metros lineales. En desarrollo de las actividades se están ejecutando las excavaciones, manejo de aguas, amarre de hierros, dosificación y vaciado de concretos. Para la construcción de la zona de descarga es necesario demoler el canal reductor existente, es de resaltar que la ampliación de la sección del Box Culvert en una longitud de 315 metros lineales, es muy importante para evitar al máximo las inundaciones que se presentan en los sectores del barrio Seis de Abril y Villa Consuelo. Finalmente el presupuesto que se tiene para su ejecución es de \$8.507.345.363 pesos y el valor del contrato de interventoría es de \$ 425'600.000 pesos.¹⁵

¹⁵Box culvert en la ciudad de Villavicencio, Meta. (s.f.). Obtenido de <http://juaning91.blogspot.com/2012/03/proyecto-del-box-culvert.html>

CONTRATISTA: CONSORCIO OBRAS HIDRÁULICAS
CONTRATANTE: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio E.A.A.V.
INTERVENTORIA: CONSORCIO CRISTALINAS

Figura 10. Construcción box Culvert en ciudad de Villavicencio



Fuente: <http://juaning91.blogspot.com/>

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 ELECCIÓN BOX CULVERT PARA ESTE DISEÑO

Para este diseño de Box Culvert se selecciona de tipo “alcantarilla rectangular en trinchera”, que se construye in situ mediante excavación en el terreno, sobre piso compactado.

Espacio libre horizontal: 3.70m

Espacio libre vertical: 2.70m

Debe soportar una carga viva de tren de cargas H 20-44.

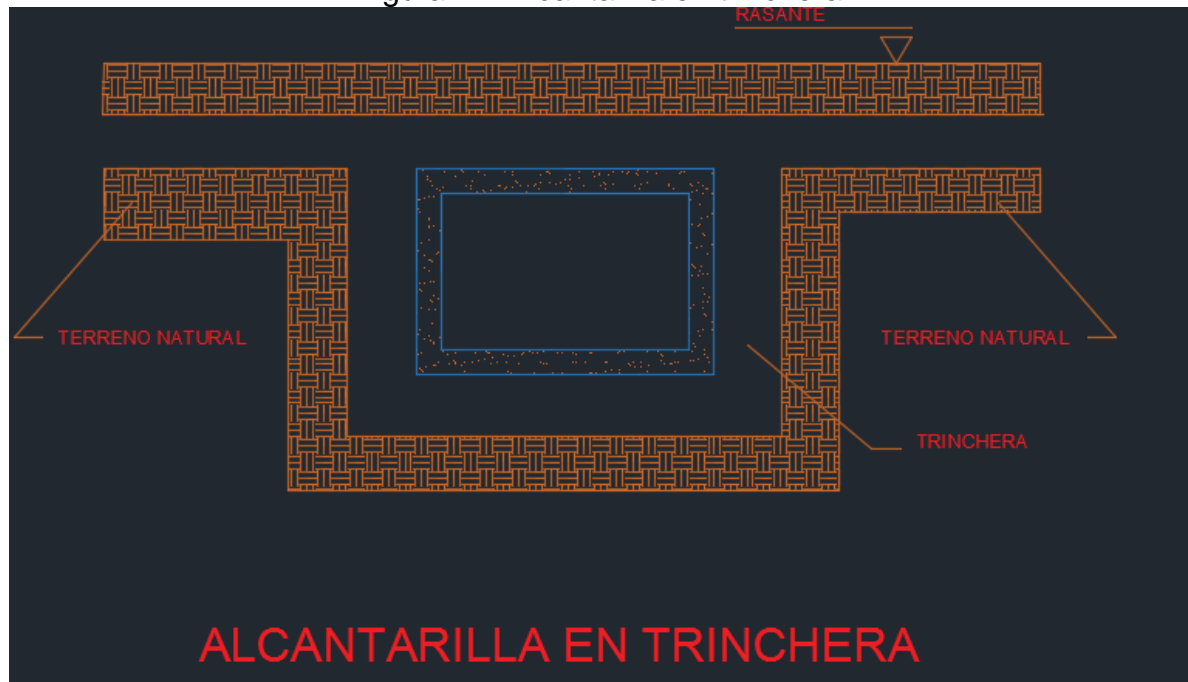
Los materiales son:

Hierro $F_y = 60.000(\text{psi}) = 4.200 \text{ kg/cm}^2$

Concreto $f_c = 4000 (\text{psi}) = 280 \text{ kg/cm}^2$

El coeficiente de empuje lateral de la tierra es 0,33 (K)

Figura 11. Alcantarilla en trinchera



Fuente: propia

4.2 MATERIALES

Concreto: La calidad del concreto para estas estructuras debe cumplir con los requisitos de la norma de la EAAB-ESP NP-005 Materiales de construcción: Concretos y morteros.

La resistencia de diseño a la compresión mínima para el concreto debe ser de $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (4000 psi) y la relación agua cemento deberá ser máxima de 0.45.

Acero de refuerzo: El acero de refuerzo debe cumplir con el capítulo C.3.5 del NSR-10 Resistencia a la fluencia $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ (60000 PSI)

4.2.1 Espesores mínimos.

La definición del espesor mínimo está controlada por los recubrimientos mínimos requeridos para el refuerzo y por las consideraciones de resistencia e impermeabilidad.

No se emplean espesores menores a 200 mm para dos mallas de refuerzo.

Cuando por requerimientos de diseño sólo se requiera una malla de refuerzo, el espesor mínimo será de 150 mm.

4.2.2 Refuerzo.

El refuerzo mínimo a flexión está definido en la sección 10.5 del ACI-350-06, excepto para las estructuras hidráulicas sujetas a régimen de cargas vehicular, para las cuales el refuerzo mínimo a flexión será el determinado en la sección A.7.9 del CCOSP y la sección 8.17.1 de la AASHTO.

Los detalles de refuerzo, su desarrollo y empalme de refuerzo están de acuerdo con los capítulos C7 y C12 de NSR-10 Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistentes, excepto para estructuras sometidas a régimen vehicular, las cuales se regirán por el CCOSP. El refuerzo mínimo por retracción y temperatura está definido en la sección 7.12 del ACI 350-06

La cuantía mínima para elementos con dimensiones menores a 6.00 m entre juntas es de 0.0033.

4.2.3 Recubrimientos.

Los recubrimientos mínimos de diseño están definidos en el numeral 7.7.1 del ACI-350-06 y serán de 5.0 cm. como mínimo.

4.3 DISEÑO ESTRUCTURAL

4.3.1 Cargas de diseño.

Se evalúan todas las cargas que se puedan presentar en los diferentes elementos de la estructura, durante la etapa de construcción y de operación, haciendo las respectivas combinaciones y distribuciones de carga según las normas especificadas.

Se deben evaluar las siguientes cargas:

4.3.1.1 Carga Muerta.

Peso propio
Peso del relleno
Presiones laterales
Presión hidrostática
Presión lateral del terreno
Presión lateral por sobrecarga

4.3.1.2 Carga Viva.

Se adopta que las estructuras están sometidas a régimen de carga vehicular, para lo cual se considera el camión de diseño C40-95 y afectado por el factor de impacto donde sea aplicable. La distribución de cargas vehiculares se realiza de acuerdo con los criterios de las normas AASHTO y/o CCOSP.¹⁶

¹⁶AASHTO. (s.f.). *TRANSPORTATION*.
<http://www.transportation.org/Pages/Default.aspx>

Obtenido de

Cuando existen rellenos sobre la losa superior de la alcantarilla, la distribución de la carga de camión a través del relleno se hace como se indica a continuación:

Carga directamente sobre la cara superior de la alcantarilla

Carga de camión (H o HS)

Carga de vía (H o HS)

Carga transmitida a través del relleno

4.3.1.2.1 Peso del relleno (PR).

Según la AASHTO las presiones de la tierra o las cargas sobre las alcantarillas deben calcularse considerando el peso de la tierra colocada directamente sobre la estructura.

Para las alcantarillas de cajón o box Culvert deberá considerarse el 70% del peso real de la tierra, lo cual equivale a un incremento del 40% en los esfuerzos permisibles para la carga en el proyecto, en relación a los esfuerzos permisibles por carga viva.

Las presiones laterales se trabajarán con el coeficiente de presión de tierras en reposo. Se considera la presión de agua exterior de acuerdo con el estudio de suelos y un empuje adicional debido a la carga viva, equivalente a una sobre carga vertical uniforme de 0.70m de suelo.¹⁷

Subpresión: Se calculará con el nivel freático suministrado por el estudio de suelos, con el fin de revisar la estructura a la flotación.

En la verificación de la capacidad portante, se consideran todas las cargas actuantes vivas, muertas etc.:

- El diseño se lleva a cabo utilizando el Método de resistencia última.
- Como mínimo se consideran los siguientes tipos de carga:
 - I Peso propio durante construcción (D) (sin losa superior) •
 - II Peso propio (D)
 - III Presión del agua (H)
 - IV Empuje de tierras (H)
 - V Carga viva (L)
 - VI Carga viva (vehicular) (L)
 - VII Sobrecarga (L)

¹⁷ (Criterios de diseño de estructuras complementarias nuevas - Etapa de estudios y diseño. Version 2, 2008)

Las resistencias de diseño multiplicadas por los factores de reducción de capacidad ϕ (dados en ACI 350-06), deben exceder los efectos de las cargas mayoradas multiplicadas por los factores de carga, de acuerdo con las siguientes combinaciones.¹⁸

1.60 D

1.40 D + 1.70 L

1.05 D + 1.28 L + 1.00 E

1.40 D + 1.70 L + 1.70 H

0.90 D + 1.00 E

0.90D + 1.70 H

Estructura Definitiva

1.40 (II) + 1.70 (IV) + 1.70 (V)

0.90 (II) + 1.70 (IV)

Los resultados de estas cargas mayoradas para diseño se multiplicarán por el coeficiente de durabilidad sanitaria los cuales están especificados así:¹⁹

Determinación de refuerzo a flexión 1.30

Determinación del refuerzo por cortante, el exceso de cortante requerido por encima del que resiste el concreto $\phi *VC$, debe multiplicarse por 1.30

Compresión 1.00

Para el caso de estructuras sometidas a cargas vehiculares se utilizarán las combinaciones exigidas por el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes.

4.3.3 Control de agrietamiento.

Las secciones transversales de máximo momento positivo y negativo, se dimensionan de tal manera que el parámetro Z no exceda 20.5 MN/m.

Para estructuras sometidas a cargas vehiculares, el parámetro Z no debe exceder de 17.5 MN/m.

Los valores de Z serán establecidos para recubrimiento que no exceda 5 cm y se trabaja con este valor, el recubrimiento adicional se trata como simple protección.

¹⁸ (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10))

¹⁹ (Criterios de diseño de estructuras complementarias nuevas - Etapa de estudios y diseño. Version 2, 2008)

4.3.4 Memoria de cálculos.

En general la Memoria de Cálculos incluye:

- Descripción de la estructura
- Concepción estructural
- Procedimiento de análisis
- Criterios de diseño
- Las bases del diseño, incluyendo los casos e hipótesis de cargas hechas durante este proceso.
- Descripción de las cargas y procedimiento para evaluarlas (vivas, muertas, empujes de tierra, operación, etc.) y las zonas de la estructura donde se utilizaron.
- Información acerca del estudio de suelos y los criterios de diseño de la cimentación, incluyendo capacidad portante del suelo y los parámetros geotécnicos empleados en la evaluación de cargas si hay lugar a ello.
- Análisis y diseño para cargas verticales y laterales de los elementos estructurales, incluida la cimentación.

4.3.5 Planos estructurales.

Se debe suministrar planos de dimensiones y refuerzo para cada una de las estructuras, detallando sus dimensiones y características generales. En los esquemas de refuerzo, se indican el diámetro y posición de las varillas, empalmes etc. Adicionalmente especificaciones de materiales, notas complementarias y escalas.

En los planos se suministra la localización de los elementos estructurales, sus dimensiones, refuerzo a una escala adecuada, y detalles suficientes para la correcta construcción. Así mismo, puede hacerse referencia a dimensiones indicadas en los planos hidráulicos cuando sea apropiado.

Los alzados y cortes se realizan con escala, cantidad y alcance apropiados para indicar la interdependencia y conexiones entre los diferentes elementos.

Cuando se utilicen detalles incluidos y calificados como típicos se verifica que sean aplicables a las condiciones del proyecto.

En general los planos estructurales incluyen lo siguiente, pero pueden variar de acuerdo con la complejidad de cada estructura:

Planta general

Notas generales, incluidas las especificaciones de los materiales estructurales, los parámetros geotécnicos, los recubrimientos, las cargas vivas utilizadas, los pesos de los equipos, máxima altura de almacenamiento de materiales; se indicará que esta altura debe quedar materializada en el sitio.

Planos de cimentación.

Planos de las diferentes plantas estructurales.

Planos para indicar la interdependencia y conexiones entre los elementos estructurales, incluidos los detalles tipo de las diferentes juntas utilizadas en la concepción del proyecto.

Basados en las cantidades de material por elemento estructural obtenidas durante el proceso de diseño, se elaborará un cuadro de las cantidades totales usadas durante la ejecución del proyecto discriminadas por elemento estructural, a fin de establecer un presupuesto de las estructuras del proyecto.

Planos del refuerzo principal y secundario para los elementos estructurales (placas, muros, vigas, columnas, zapatas y pilotes). Se presenta cada elemento estructural, con sus dimensiones, indicación de las armaduras (marca, diámetro y separación), utilizando una nomenclatura clara y sencilla; las distintas varillas de refuerzo deben ser despiezadas al lado de cada elemento con su respectiva marca, diámetro, separación, longitudes parciales y longitud total o de corte.

También se deben presentar los cortes transversales, longitudinales, horizontales, parciales, etc., que sean necesarios y aclaratorios.

Cada detalle estructural tales como huecos para paso de tuberías, accesos al tanque etc., se dibujan con sus dimensiones y armaduras propias.

Cada tipo distinto de junta lleva su respectivo dibujo claro y detallado.

Además de las notas aclaratorias particulares, en cada plano se indica una serie de notas generales indicativas de las especificaciones de materiales, recubrimiento, presiones, sobre el terreno, recomendaciones del estudio geotécnico, etc.

Se incluye en los planos el cuadro de cantidades de obra de la estructura, el cual consta de la cartilla de hierros, donde se indica la marca, ubicación, forma,

diámetro, longitud, cantidad y peso de cada uno de los distintos tipos de refuerzo, los volúmenes de concretos a utilizar, las longitudes de los diferentes tipos de juntas empleados y demás cantidades de materiales que hagan parte de la estructura.²⁰

Finalmente, se incluyen las notas referentes a descripción del proceso constructivo propuesto para el desarrollo de la obra.

4.4 METODOLOGÍA

4.4.1 Estudios previos al diseño de alcantarillas.

4.4.1.1 Estudio Hidrológico.

El ciclo hidrológico es un acontecimiento importante en el diseño de sistemas de drenaje vial; siendo importante las fases de precipitación y escurrimiento.

Los principios de hidrología relacionados con el estudio del drenaje de la carretera son aplicables al diseño de alcantarillas. Es probable, sin embargo, que la información de precipitación y escurrimiento para las corrientes que se tratan de evacuar a través de las alcantarillas no sea obtenible, y que sea necesario utilizar datos deducidos de la observación o del comportamiento de estructuras similares en la región.²¹

Al diseñar una estructura de drenaje, uno de los primeros pasos a dar consiste en estimar el volumen de agua que llegará a ella en un determinado instante. Dicho volumen de agua se llama descarga de diseño, y su determinación debe realizarse con el mayor grado de precisión, a fin de poder fijar económicamente el tamaño de la estructura.

4.4.1.1.1 Caudal de diseño (RAS 2000).

Para la estimación del caudal de diseño puede utilizarse el método racional, el cual calcula el caudal pico de aguas lluvias con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escorrentía.

²⁰ (Criterios de diseño de estructuras complementarias nuevas - Etapa de estudios y diseño. Version 2, 2008) (REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO - RAS 2000)

²¹ (REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO - RAS 2000)

La ecuación del método racional es:

$$Q = 0.278 C \times I \times A \text{ (D.4.1)}$$

Dónde:

Q = Caudal Hidrológico, en m³/s.

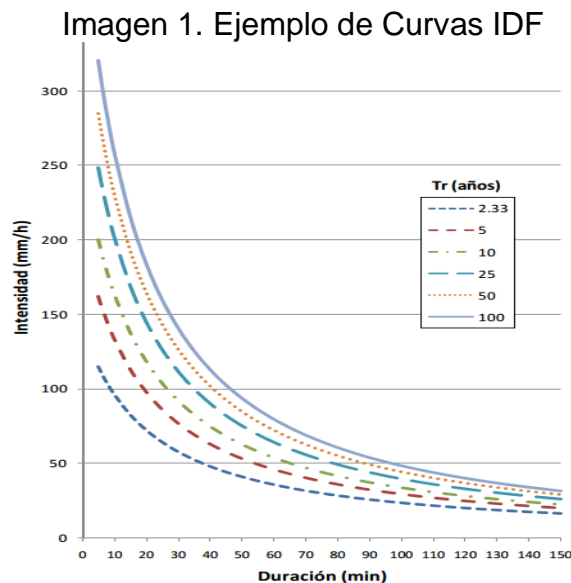
C = Coeficiente de escorrentía, adimensional.

A = Área de la cuenca, en Km².

I = Intensidad de lluvia, en mm/hr

4.4.1.1.2 Curvas de intensidad-duración-frecuencia (RAS 2000).

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos. Es necesario verificar la existencia de curvas IDF.



Fuente. RAS 2000

Tabla 2. Curvas IDF

Nivel de complejidad del sistema	Obtención mínima de curvas IDF
Bajo y medio	Sintética
Medio alto	Información pluviográfica regional
Alto	Información pluviográfica local

Fuente: TITULO D-RAS200, TABLA D.4.1 CURVAS IDF.

4.4.1.1.3 Período de retorno (RAS 2000).

En la elección del período de retorno, frecuencia o probabilidad a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla aceptable, dependiendo, este último, de factores económicos, sociales, ambientales, técnicos y otros.

La confiabilidad del diseño, representada por la probabilidad que no falle la estructura durante el transcurso de su vida útil, considera el hecho que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante la vida útil, es decir, no debe presentarse un evento de magnitud superior a la usada en el diseño durante el primer año de funcionamiento de la estructura, durante el segundo, y así sucesivamente. Dado que la probabilidad de ocurrencia para cada uno de estos eventos es independiente, la probabilidad de riesgo durante el período de vida útil de la estructura se determina en función del período de retorno y la vida útil:

$$r = 1 - (1 - 1/T)^n$$

Dónde:

r= probabilidad de falla o riesgo

T= período de retorno (años)

n= vida útil (años)

Tabla 3. Periodos de retorno o grados de protección

Características del área de drenaje	Mínimo (años)	Aceptable (años)	Recomendado (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha	2	2	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 ha	5	5	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores de 1000 ha*	10	25	25
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha	25	25	50

*Parte revestida a 10 años, más borde libre a 100 años

Fuente: TABLA D.4.2 Periodos de retorno o grados de protección, TITULO D, RAS2000.

4.4.1.1.3 Intensidad de precipitación (RAS 2000).

La intensidad de precipitación que debe usarse en la estimación del caudal pico de aguas lluvias corresponde a la intensidad media de precipitación dada por las curvas IDF para el periodo de retorno de diseño definido con base en lo establecido en el literal D.4.3.4 del RAS2000 o en el literal 4.4.1.1.3 Periodo de retorno (RAS 2000). De este documento; Y una duración equivalente al tiempo de concentración de la escorrentía, cuya estimación se define en el literal D.4.3.7. de RAS200.²²

4.4.1.1.4 Coeficiente de escorrentía (RAS 2000).

El coeficiente de escorrentía, C, es función del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía. De igual manera, debe incluir consideraciones sobre el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y las disposiciones legales locales sobre uso del suelo. El valor del coeficiente C debe ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del periodo de diseño.²²

4.4.1.2 Estudio hidráulico.

4.4.1.2.1 Velocidad mínima (RAS 2000).

Las aguas lluvias transportan sólidos que pueden depositarse en los colectores si el flujo tiene velocidades reducidas. Por lo tanto, debe disponerse de una velocidad suficiente para lavar los sólidos depositados durante periodos de caudal bajo. Para esto se establece la velocidad mínima como criterio de diseño. La velocidad mínima real permitida en el colector es 0,75 m/s para el caudal de diseño.²³

4.4.1.2.2 Velocidad máxima (RAS 2000).

Los valores máximos permisibles para la velocidad media en los colectores dependen del material, en función de su sensibilidad a la abrasión. Los valores adoptados deben estar plenamente justificados por el diseñador en términos de la

²²Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). TITULO D. SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PLUVIALES. *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO-RAS2000*. Colombia.

²³ Literal D.4.3.10 RAS2000

resistencia a la abrasión del material, de las características abrasivas de las aguas lluvias, de la turbulencia del flujo y de los empotramientos de los colectores.²³ Valores típicos de velocidad máxima permisible para algunos materiales se presentan en la tabla D.4.8. DEL TITULO D-RAS2000 o Tabla 4 de este documento, que se muestra a continuación:

Tabla 4. Velocidades máximas permisibles

Tipo de material	V (m/s)
Ladrillo común	3,0
Ladrillo vitrificado y gres	5,0
Concreto	5,0
PVC	10,0

Fuente: TITULO D, RAS2000, TABLA D.4.8 Velocidades máximas permisibles.

4.4.1.3 Estudios topográficos.

La selección del tamaño y tipo de estructura de drenaje, aceptable a un sitio determinado, depende de la precisión con que se puedan señalar sobre los planos topográficos o sobre fotografías aéreas de los alrededores de la carretera, las cuencas de los arroyos y corrientes de agua que cruzan la vía, el perfil longitudinal del canal a la entrada y salida de la alcantarilla y su sección transversal, la sección transversal del terraplén, las cotas de inundación permisibles a la entrada y salida de la estructura, la naturaleza del lecho del canal, las posibilidades de erosión, etc.

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 MEMORIA DE CALCULOS

SISTEMA DE UNIDADES	
Año	año
Día	día
H	hora
Ha	hectárea
Hab	habitante
°C	Grados centígrados
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
L	litro
M	metro
M2	metro cuadrado
M3	metro cúbico
mg	miligramo
min	minuto
mm	milímetro
N	Newton
S	Segundo

5.1.1 ESTUDIO HIDROLOGICO

Cálculo del caudal (RAS 2000)

- Área de la Cuenca: 1.53 Km²
- Longitud del Cauce más Largo = 1.57 Km.
- Coeficiente de Escorrentía = 0.35 El valor del coeficiente C debe ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del periodo de diseño.
- Tiempo de Concentración = 0.1167 Horas (7 Minutos)
- Intensidad de la lluvia 80mm/h curvas IDF; literal D.4.3.4; literal D.4.3.7.
- Periodo de retorno = 10 años $r = 1 - (1 - 1/T)^n$

En la Tabla 3 se establecen valores de periodos de retorno o grado de protección.

$$Q = 0.278 C \times I \times A$$

$$Q = 0.278 \times 0.35 \times 80 \text{ mm/h} \times 725\text{ha}$$

$$Q = 5643.4 \text{ L/s}$$

$$Q = 5.64 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.1.2 ESTUDIO HIDRÁULICO

Velocidad mínima (RAS 2000)

Velocidad mínima real permitida en el colector es 0,75 m/s para el caudal de diseño.

Velocidad máxima (RAS 2000)

Valores típicos de velocidad máxima permisible para algunos materiales se presentan en la tabla D.4.8.

Caudal a tubo lleno

$$Q = A \times V$$

$$V = R^{2/3} \times S^{1/2} / n \quad \text{---} \quad \begin{aligned} S &= 0.05\% \\ b &= 3.00 \text{ m} \\ Y &= 2.00 \text{ m} \\ n &= 0.014 \end{aligned}$$

$$R = A / P \quad \text{---} \quad R = 3.00 \times 2.00 / 3.00 \times 2(2.00)$$
$$R = 0.5 \text{ m}$$

$$V = 0.5^{2/3} \times (0.0005)^{1/2} / 0.014$$

$$V = 0.6298 \times 0.0223 / 0.014$$

$$V = 1.00 \text{ m/seg}$$

$$Q = 3.00\text{m} \times 2.00\text{m} \times 1.00\text{m/seg}$$

$$Q = 6.00 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Relación de Caudales

$$5.64 \text{ m}^3/\text{s} / 6.00 \text{ m}^3/\text{seg} = 0.94 \text{ O.K}$$

5.1.3 CARGAS

Luz de cálculo (artículo 3.24 subíndice 3.24.1 Distancia entre bordes-AASHTO)

$$L = 3.70 \text{ m}$$

Espesor de la losa (artículo 8.9 subíndice 8.9.2 t tabla 8.9.2 AASHTO)
 $t = (3.7 + 3.05) / 30 = 0.225 \text{ m} > 0.174 \text{ m}$

Se considera luz continua por la restricción en los apoyos.

Se toma $t = 0.35 \text{ m}$ para diseño por las siguientes razones: Se debe dar un recubrimiento suficiente para preservar el refuerzo del efecto de la corrosión debido al contacto de las superficies con la tierra y con las aguas de drenaje.

5.1.3.1 EVALUACION DE CARGAS

Peso propio donde la densidad del concreto se toma como 2.4 ton/m^3
Peso del suelo de relleno afectado por el factor de interacción suelo -estructura.

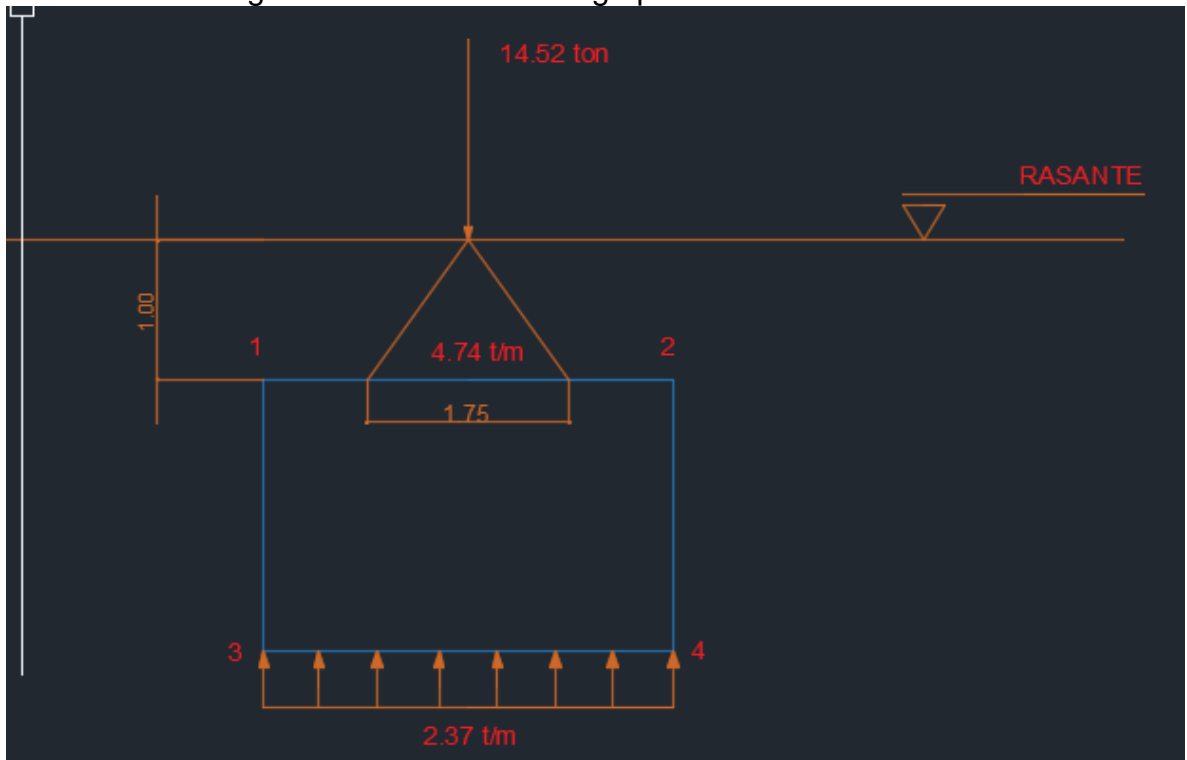
5.1.3.2 CARGA VIVA

5.1.3.2.1 PESO DEL RELLENO

Peso específico = 2.0 t / m^3
 $PR = 0.70 \times 2.0 \text{ t / m}^3 \times 1.0 \text{ m} \times 1.0$
 $PR = 1.4 \text{ t / m}$

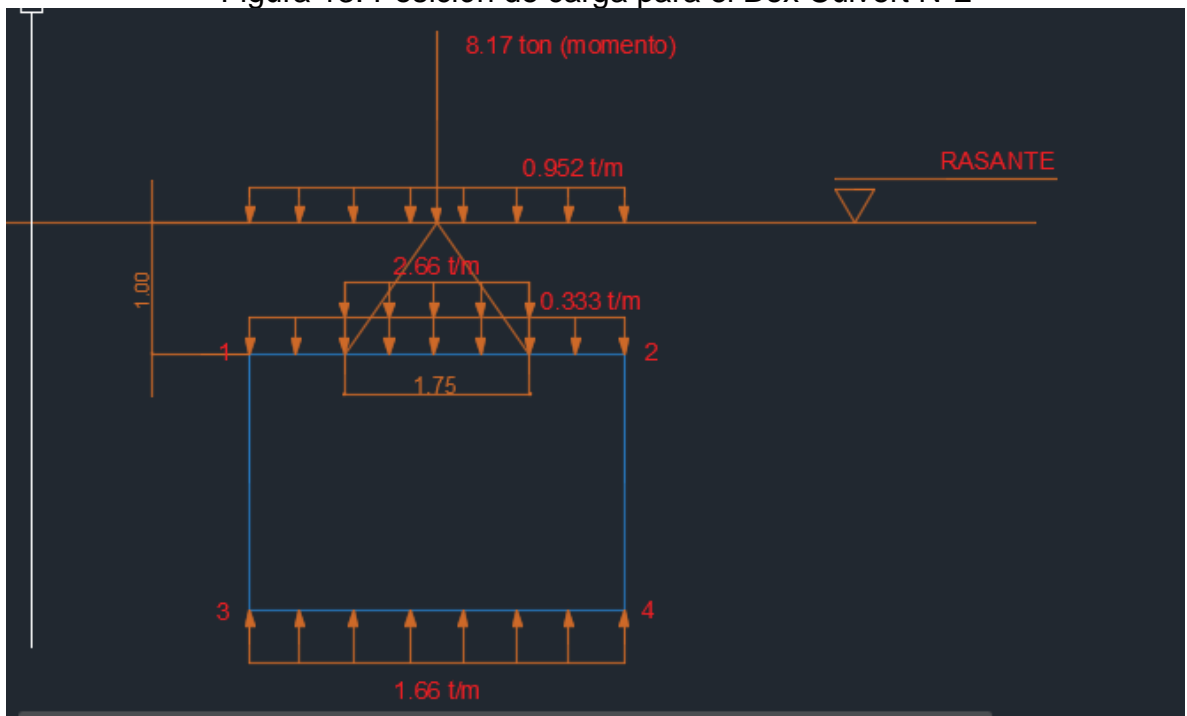
Se escogen varias posiciones de carga favorables a los efectos máximos de corte y momento. Ver figuras que se muestran a continuación (Figura 12, Figura 13, Figura 14 y Figura 15)

Figura 12. Posición de carga para el Box Culvert N°1



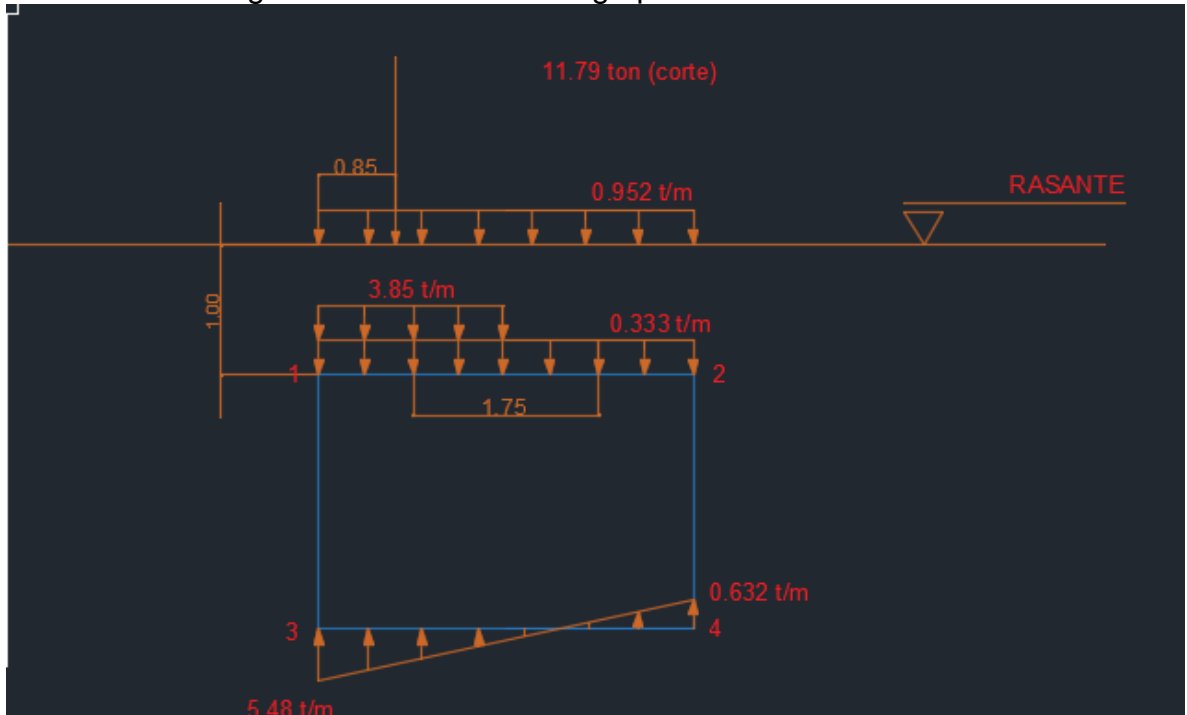
Fuente: propia

Figura 13. Posición de carga para el Box Culvert N°2



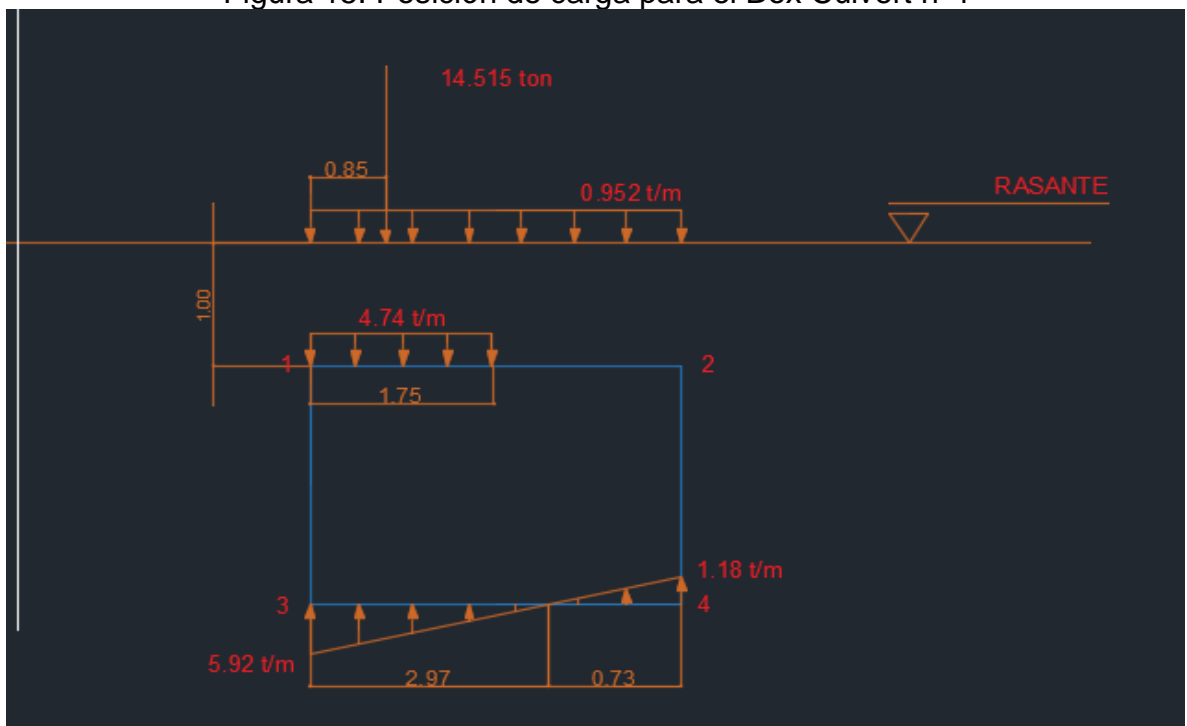
Fuente: propia

Figura 14. Posición de carga para el Box Culvert N°3



Fuente: propia

Figura 15. Posición de carga para el Box Culvert n°4



Fuente: propia

5.1.3.2 CARGA VIVA DE FLEXIÓN.

$$\mathbf{M_{cv} = 0.1 \times P \times L}$$

$$M_{cv} = (0.1 \times 14,515 / 2) \times 3.7 \text{ m}$$

$$M_{vc} = 2.68 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Impacto (I = 30 %)

$$P = 14,515 \text{ Ton} / 2 \text{ (carga de un eje)}$$

$$M \text{ (cv+1)} = 1.3 \times 2.68 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$M \text{ (cv+1)} = 3,484 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

Por metro de ancho de alcantarilla.

La carga uniforme se distribuye en un ancho $2E$ ($E=1.219 + 0.06 \times 3.7 \text{ m}$
 $= 1.441 \text{ m}$)

No se considera efecto de impacto debido a la altura del relleno. (Artículo 3.8.2.2)

$$V_u = 1.3 V_{cm} + 2.17 V_{cv}$$

La cuantía mínima asignada es 0.002 (losa maciza)

No se considera impacto debido a la altura del relleno. (Artículo 3.8 subíndice 3.8.2.3)

Los momentos vienen calculados por metro de ancho de alcantarilla.

5.1.3.3 CARGA MUERTA

5.1.3.3.1 peso propio

Nota: para la evaluación del peso propio solo se tomara un metro lineal de la Longitud del Box Culvert.

Losa superior = Losa inferior

$$WD = (2.4 \text{ t} / \text{m}^3 \times 0.35 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}) \times 2 = 1.68 \text{ t} / \text{m}$$

$$WD = 1.68 \text{ t} / \text{m}$$

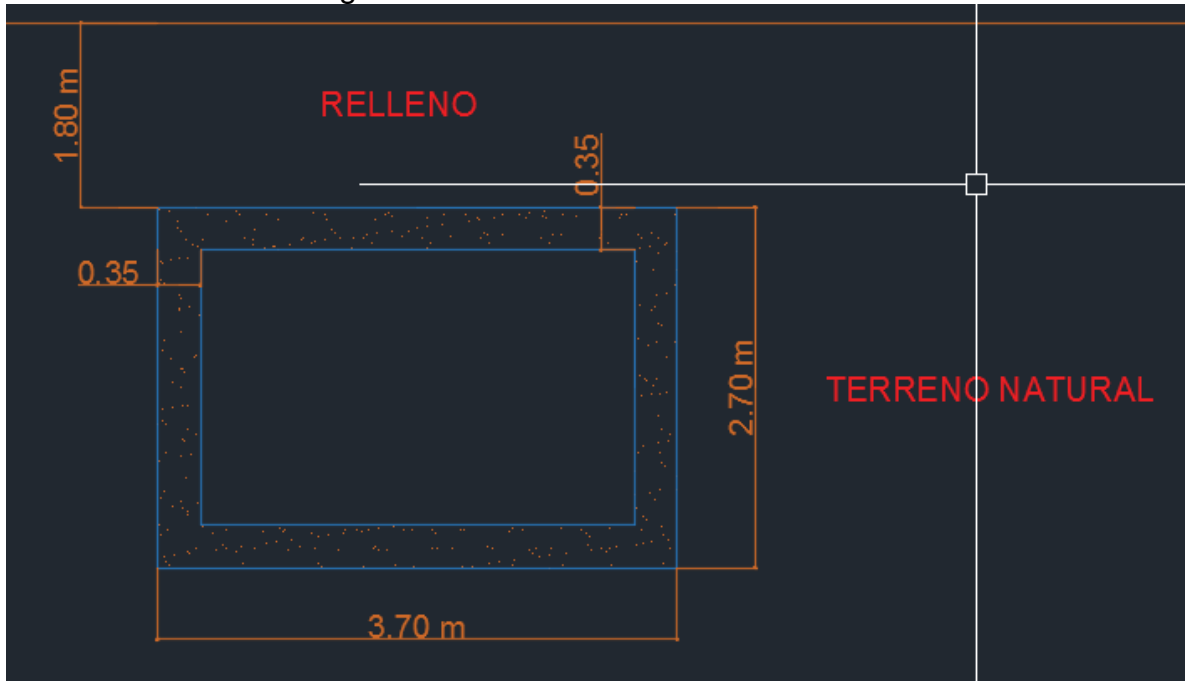
MUROS

$$WD = (2.4 \text{ t} / \text{m}^3 \times 0.35 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}) \times 2 = 3.36 \text{ t} / \text{m}$$

$$WD = 3.36 \text{ t} / \text{m}$$

$$\mathbf{WD \text{ TOTAL} = 5.04 \text{ t} / \text{m}}$$

Figura 16. Geometría de un Box Culvert



Fuente: propia

5.1.3.3.2 PRESIONES LATERALES.

Presión hidrostática (PH).

γ_w = Peso unitario del agua

$$PH = \gamma_w (h + 0.35) \times 1.0m$$

$$PH = 1.00 \text{ t / m}^3 (1.00 \text{ m} + 0.35 \text{ m}) \times 1.0$$

$$PH' = 1.35 \text{ t / m}$$

$$PH'' = \gamma_w (h + 0.35 \text{ m} + 2.70 \text{ m}) \times 1.0m$$

$$PH'' = 1.0 (1.00 \text{ m} + 0.35 \text{ m} + 2.70 \text{ m}) \times 1.0m$$

$$PH'' = 4.05 \text{ t / m}$$

No se considera la presión cuando circula el máximo caudal o lo que es lo mismo cuando la alcantarilla trabaja a tubo lleno.

Presión lateral del terreno (PLT).

γ = peso específico del terreno

$$PLT' = \gamma (h + 0.35) \times 1.0m \times k$$

$$K = 0.33$$

$$PLT' = 2.00 \text{ t / m} (1.00 \text{ m} + 0.35) \times 1.0m \times 0.33 = 0.89 \text{ t / m}$$

$$PLT' = 0.82 \text{ t / m}$$

$$PLT'' = \gamma (h + 0.35 + H) \times 1.0m$$

$$PLT'' = 2.00 \text{ t / m} (1.00 \text{ m} + 0.35 + 2.70 \text{ m}) \times 1.0m \times 0.33 = 2.67 \text{ t / m}$$

$$PLT'' = 2.67 \text{ t / m}$$

Presión lateral por sobrecarga.

No se considera por la existencia del relleno

Armadura de repartición.

De acuerdo al artículo 6.5 (código AASHTO) no se requiere armadura de repartición por existir un relleno de altura mayor a 0.61 m (2 pies)

Viga de borde.

Se recomienda colocar una viga marginal o de borde en las losas con refuerzo principal paralelo a la dirección del tránsito. Artículo 5.24 subíndices 5.24.8²⁴

Carga muerta de flexión.

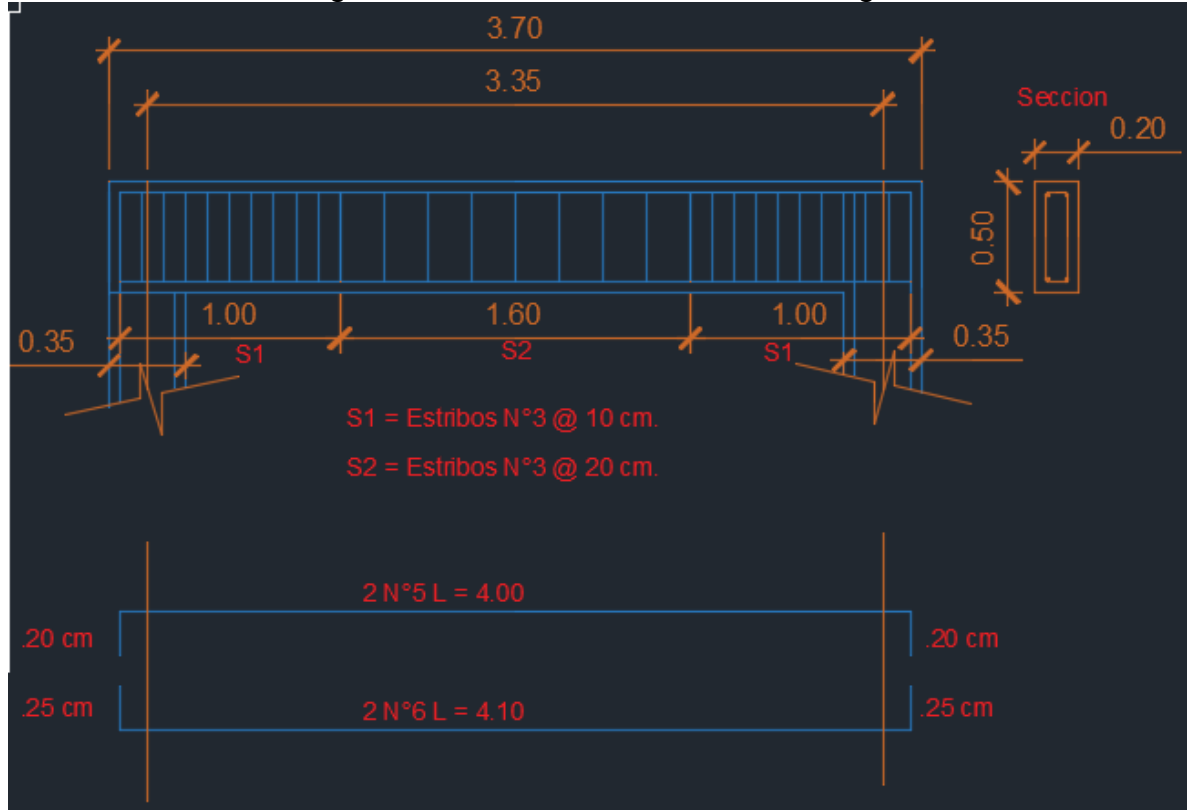
$$M_{cv} = 0.1 \times P \times L$$

Se suministra la viga para las normas con capacidad para absolver la carga viva y el impacto señalados.

²⁴AASHTO. (s.f.). *TRANSPORTATION*.
<http://www.transportation.org/Pages/Default.aspx>

Obtenido de

Figura 17. Posición de refuerzo de la viga



Fuente: propia

La sección de la viga se involucra en el ancho del guardarruedas, o sea:

$B = 0.20\text{m}$ $H = 0.50\text{ m}$.

$M (cv+1) = 3,484\text{ ton - m}$

$M_u = 7, 17\text{ ton-m}$

$P = 0.0049$

$AS = 4.41\text{ cm}^2$

Recubrimiento 5 cm $b = 20\text{cm}$ $d = 45\text{cm}$

Refuerzo longitudinal.

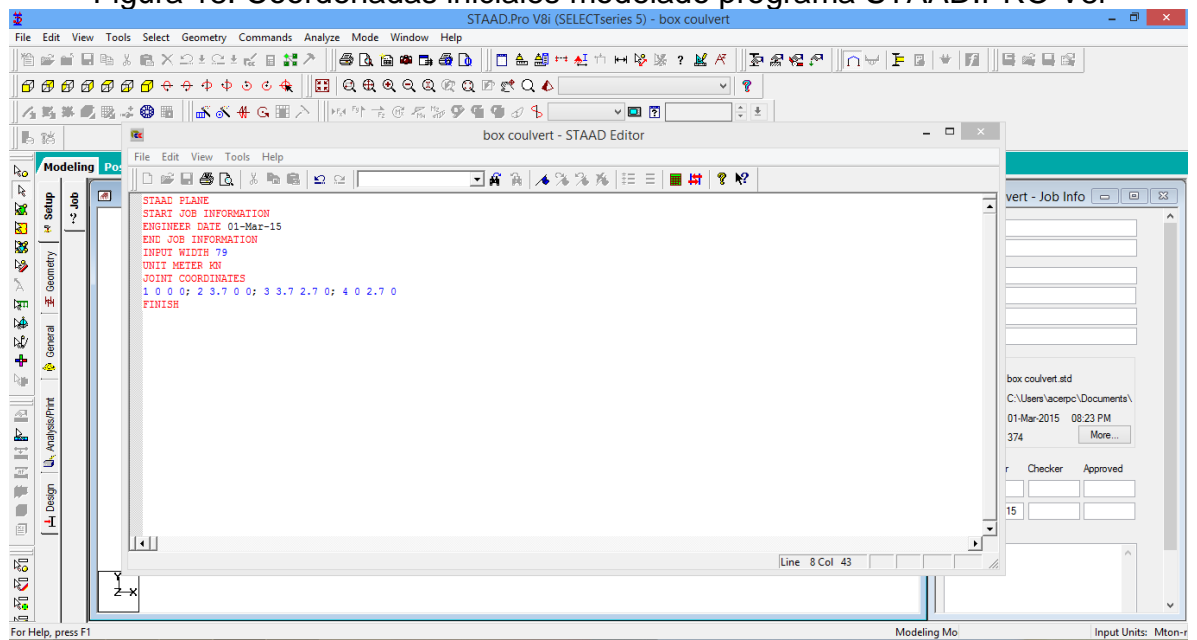
Colocar abajo 2 varillas N° 6 y arriba 2 N° 5

5.2 MODELO MATEMÁTICO UTILIZANDO EL PROGRAMA STAAD.PRO V8i

A continuación se describe paso a paso el análisis y diseño de un box Culvert utilizando el programa computacional STAAD.PRO V8i.

Para iniciar el modelado del Box en el programa de diseño STAAD, es esencial introducir las coordenadas iniciales del modelo, como se observa en la siguiente figura:

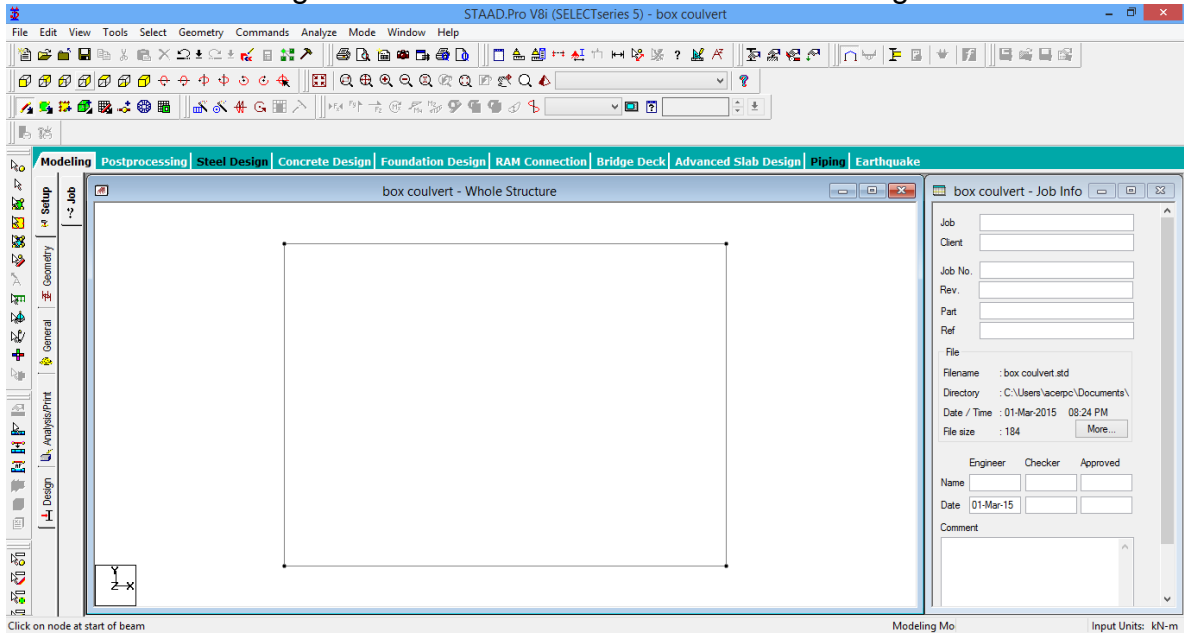
Figura 18. Coordenadas iniciales modelado programa STAAD.PRO V8i



Fuente propia.

A continuación se unen los nodos con elementos viga (Figura 19).

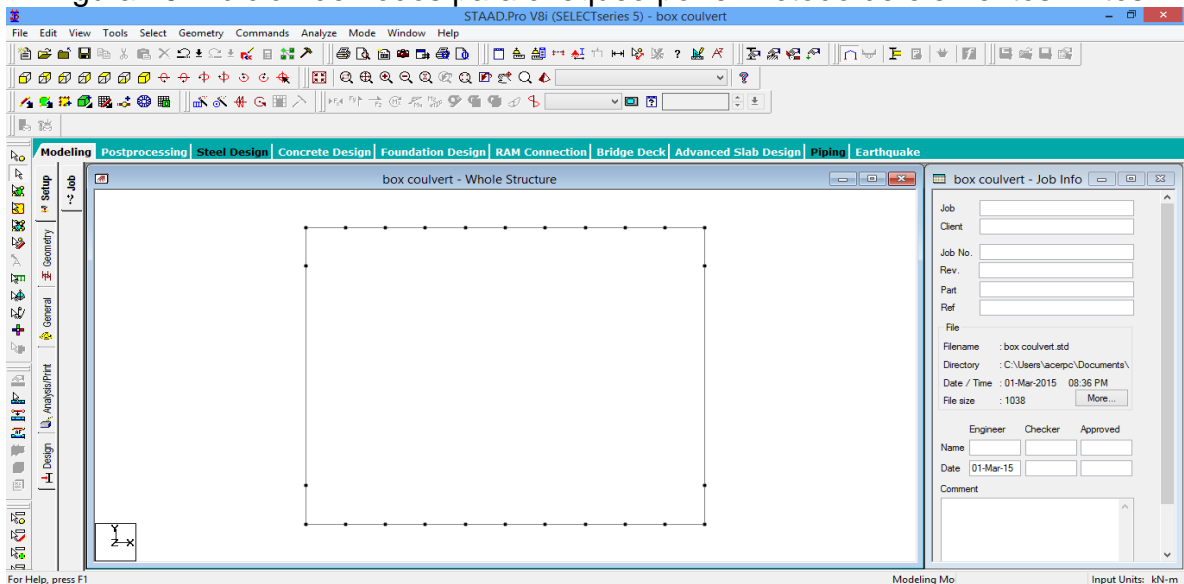
Figura 19. Unión de nodos con elementos viga



Fuente propia.

Se adicionan nodos en las juntas muro/losa para poder chequear las reacciones en estos puntos, y adicionalmente se dividen los elementos losa en varios segmentos para chequear el diseño por el método de elementos finitos. (Figura 20).

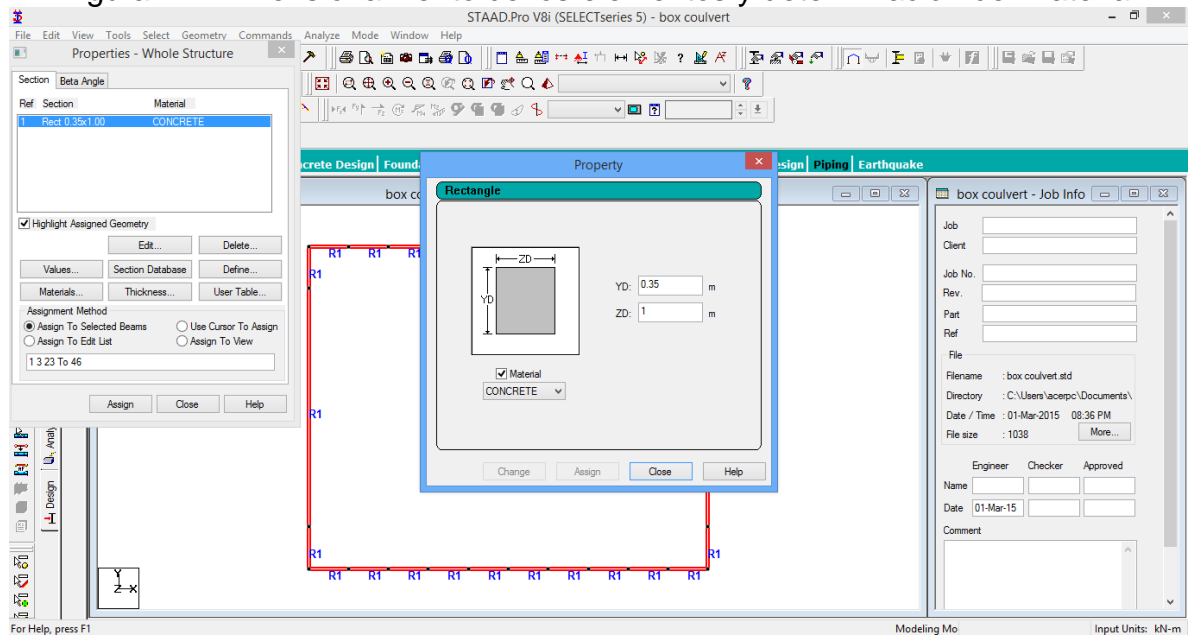
Figura 20. Adición de nodos para chequeo por el método de elementos finitos



Fuente propia.

Se seleccionan todas las vigas, y mediante el editor de propiedades de los elementos se dimensionan los elementos de acuerdo al pre dimensionamiento (espesor de muros y losas de 0.35m, y profundidad de 1m para el diseño y posterior caculo) previo. En este paso también se define el material, en este caso el concreto, para el modelado de la estructura (Figura 21)

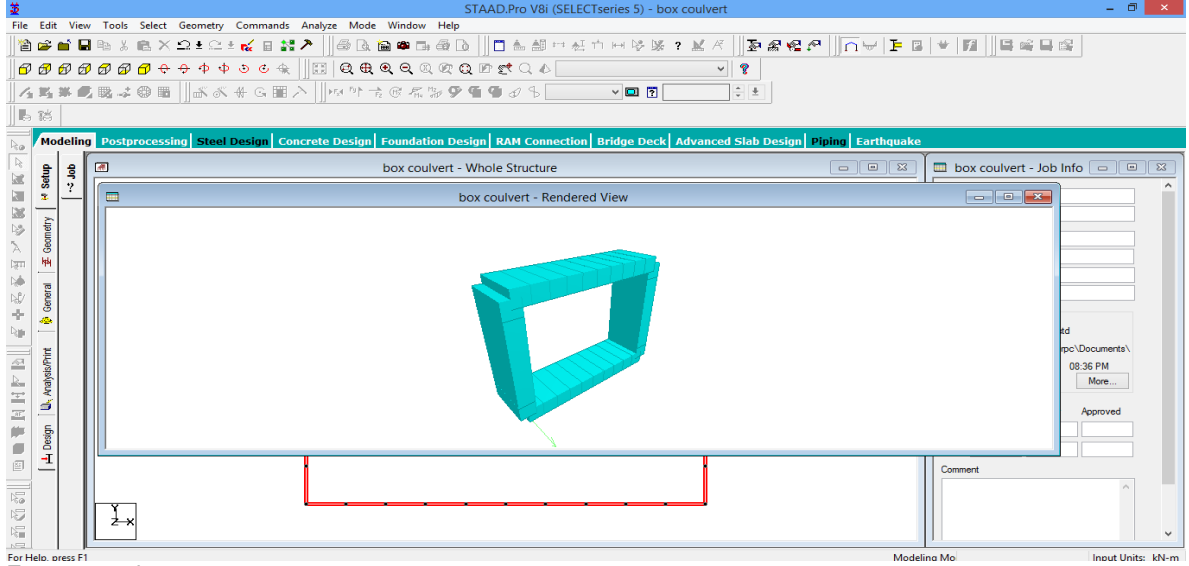
Figura 21. Dimensionamiento de los elementos y determinación del material



Fuente propia.

Después de haber determinado las dimensiones y los materiales, se genera un render en 3d de la estructura para lograr visualizar adecuadamente la estructura y comprobar que el paso anterior se haya realizado correctamente (Figura 22).

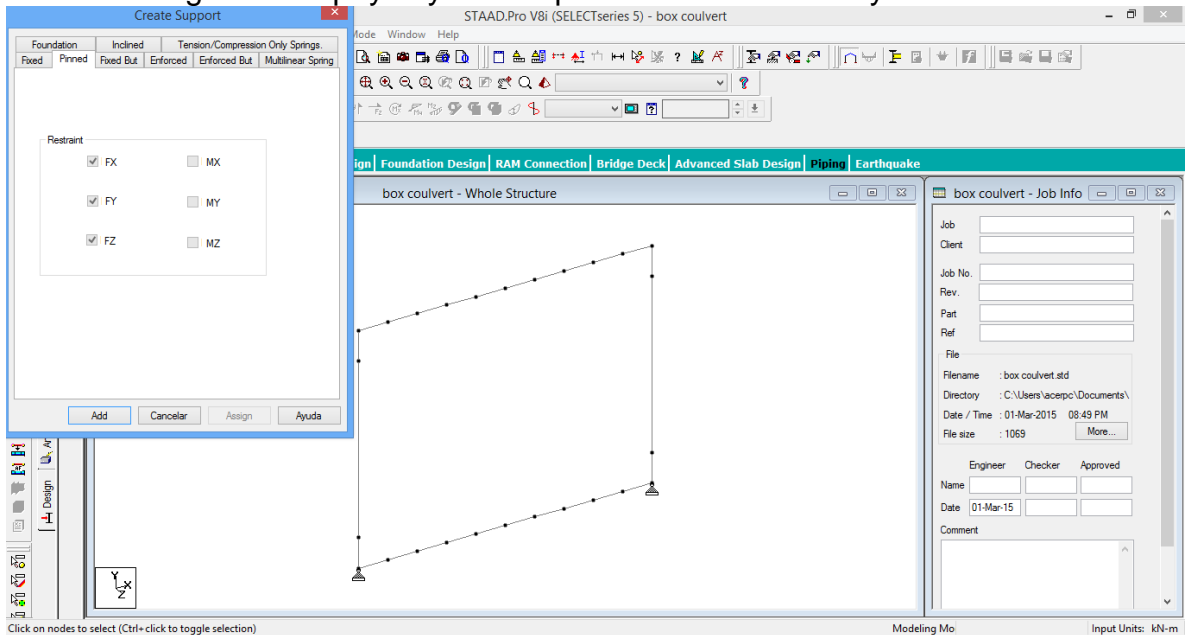
Figura 22. Render en 3D de la estructura



Fuente propia.

Posteriormente se adicionan los apoyos en los dos extremos inferiores de la estructura, siendo estos restringidos en x,y, y z, pero no se restringe la rotación (Figura 23).

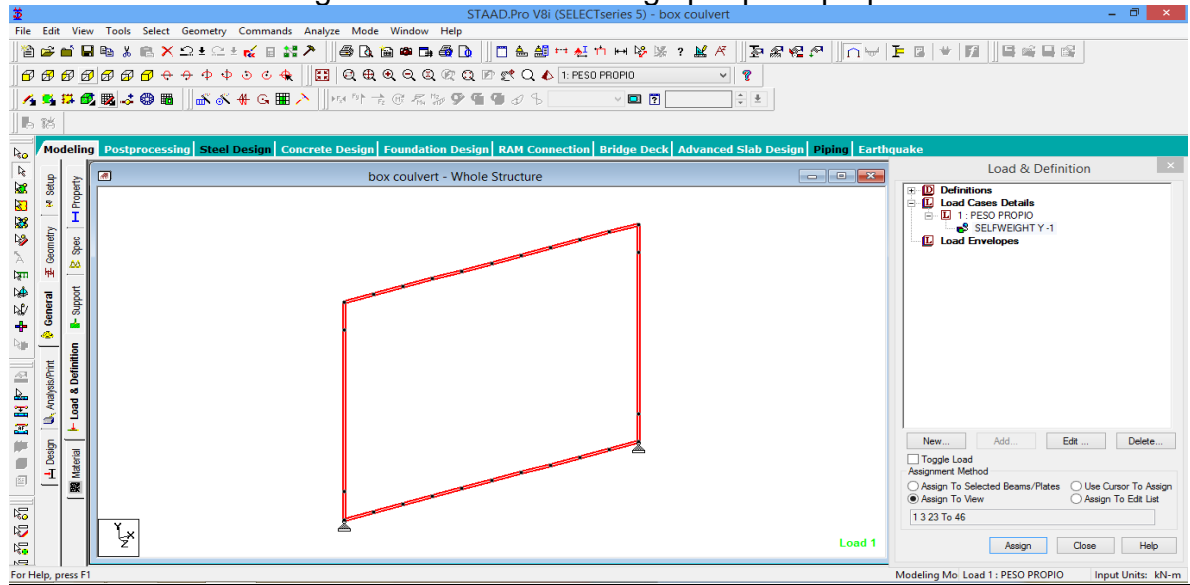
Figura 23. Apoyos y sus respectivas restricciones y libertades



Fuente propia.

A continuación se comienza con la introducción de las cargas, comenzando con la carga por peso propio, luego la carga por empuje vertical del suelo, carga viva, y finalmente el empuje lateral del suelo.

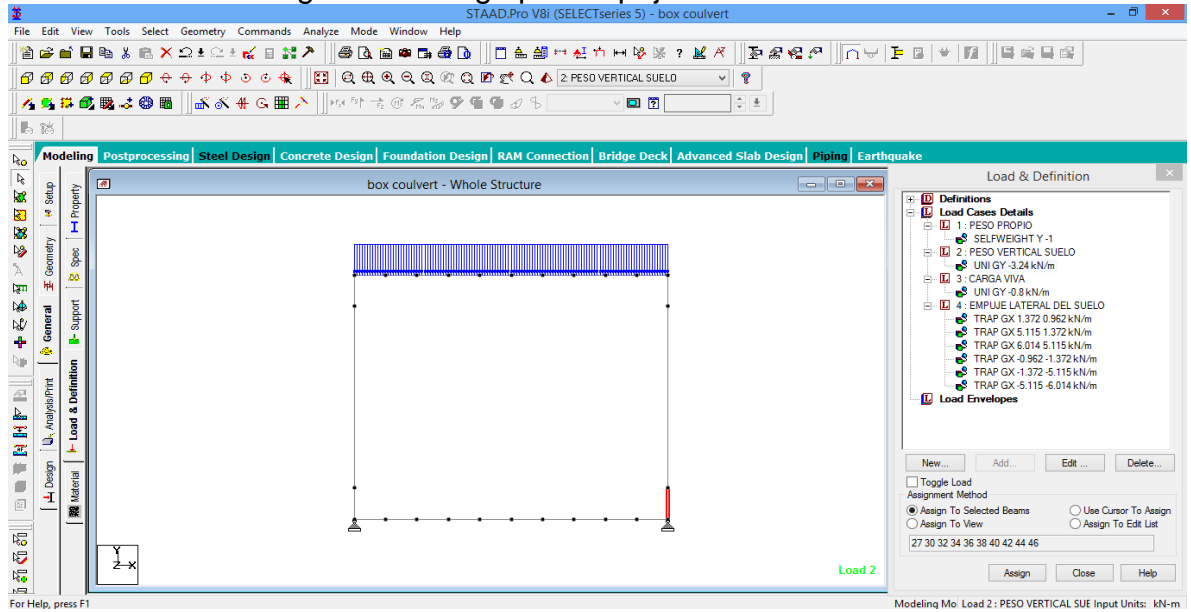
Figura 24. Adición de carga por peso propio



Fuente propia.

Se determina una carga de 3.4KN/m para el empuje vertical del suelo (Figura 25).

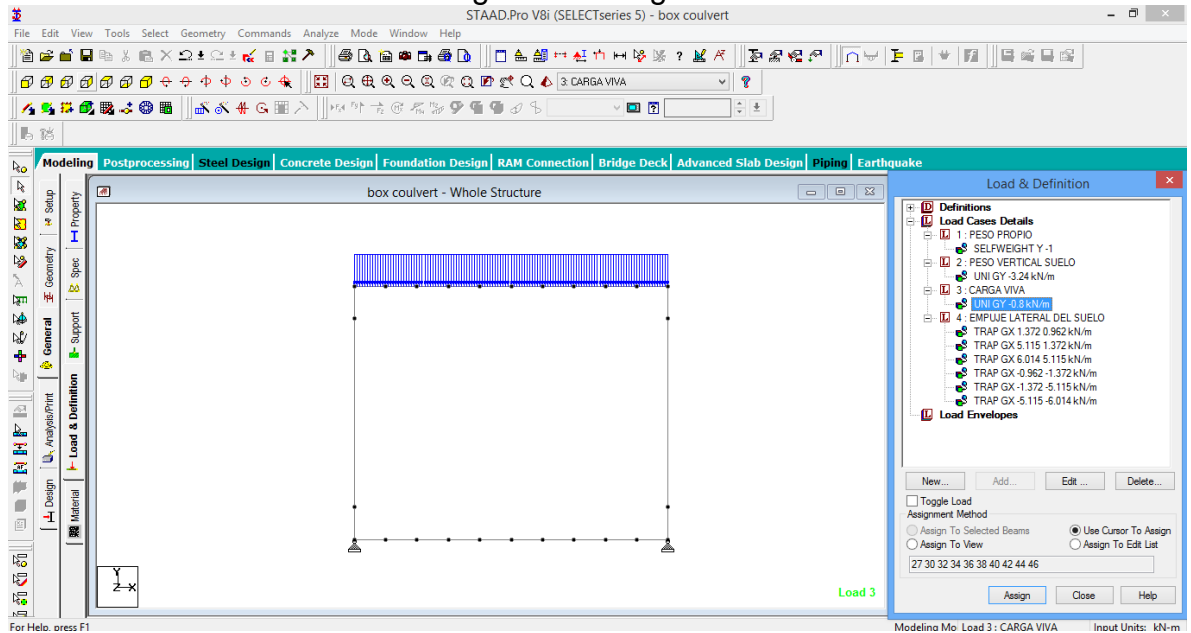
Figura 25. Carga por empuje vertical del suelo



Fuente propia.

Para la carga viva se determina un valor de 0.8KN/m (Figura 26).

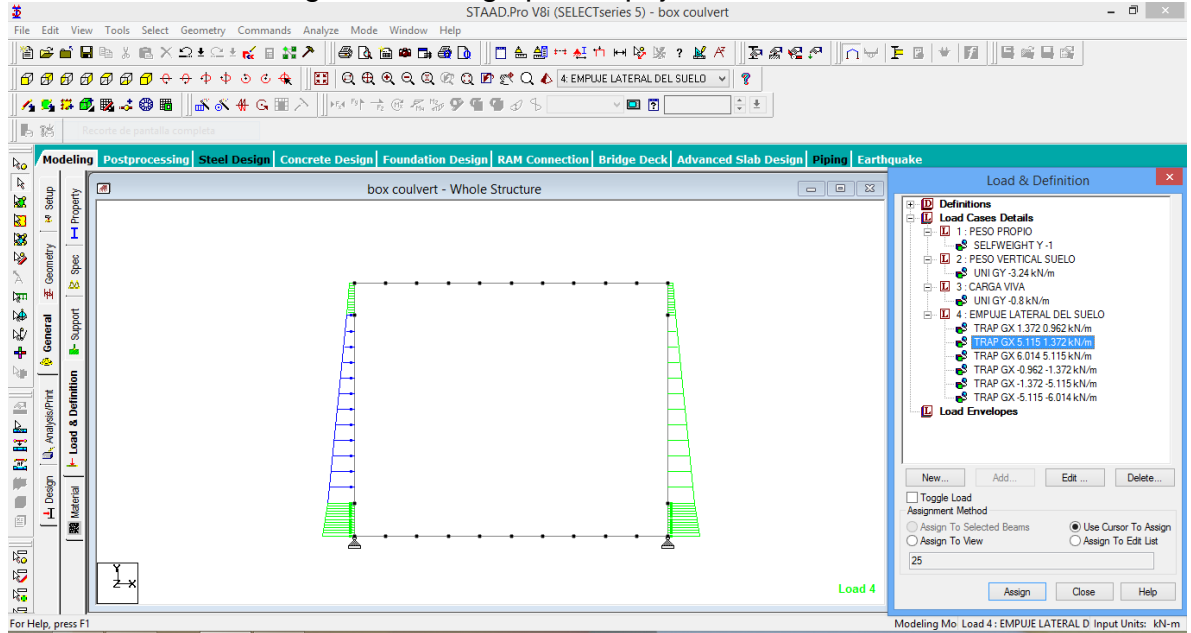
Figura 26. Carga viva



Fuente propia.

Finalmente se introduce la carga por empuje lateral del suelo, siendo esta una carga trapezoidal de un valor inicial (en la parte superior) de 0.962KN y una carga final de 6.014KN (Figura 27).

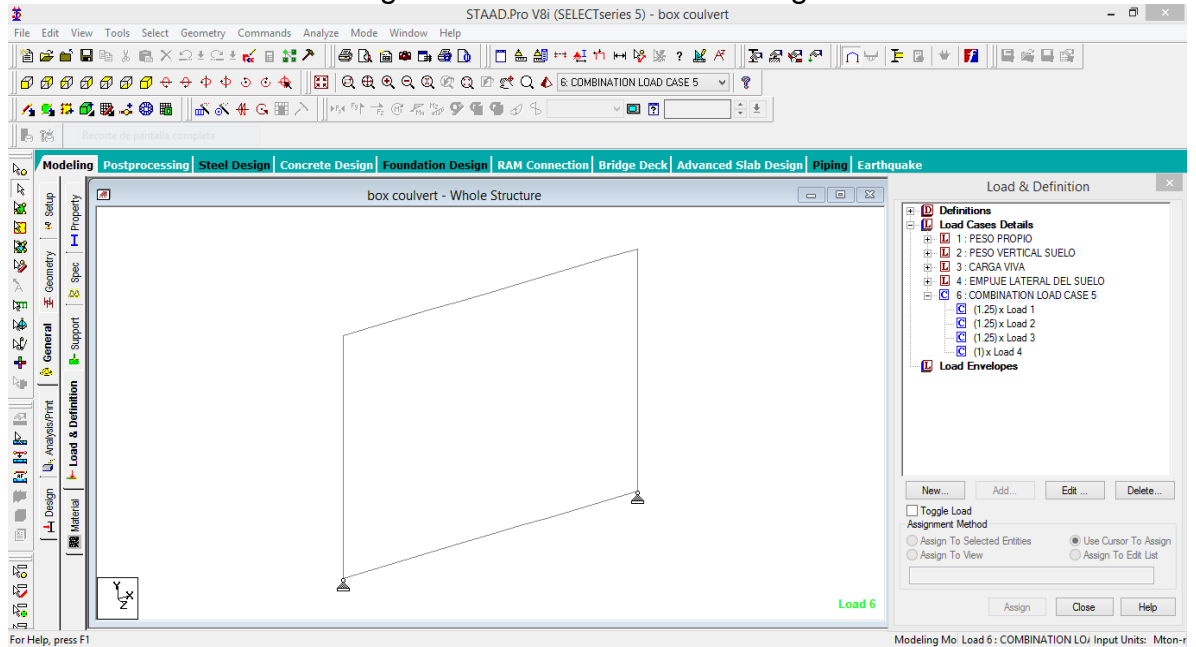
Figura 27. Carga por empuje lateral del suelo



Fuente propia.

Después de definir las cargas, se adiciona una combinación de cargas incluyendo la carga muerta (peso propio y peso vertical del suelos) con un factor de 1.25, la carga viva con un factor de 1.25, y el empuje lateral del suelo con un factor de 1.0

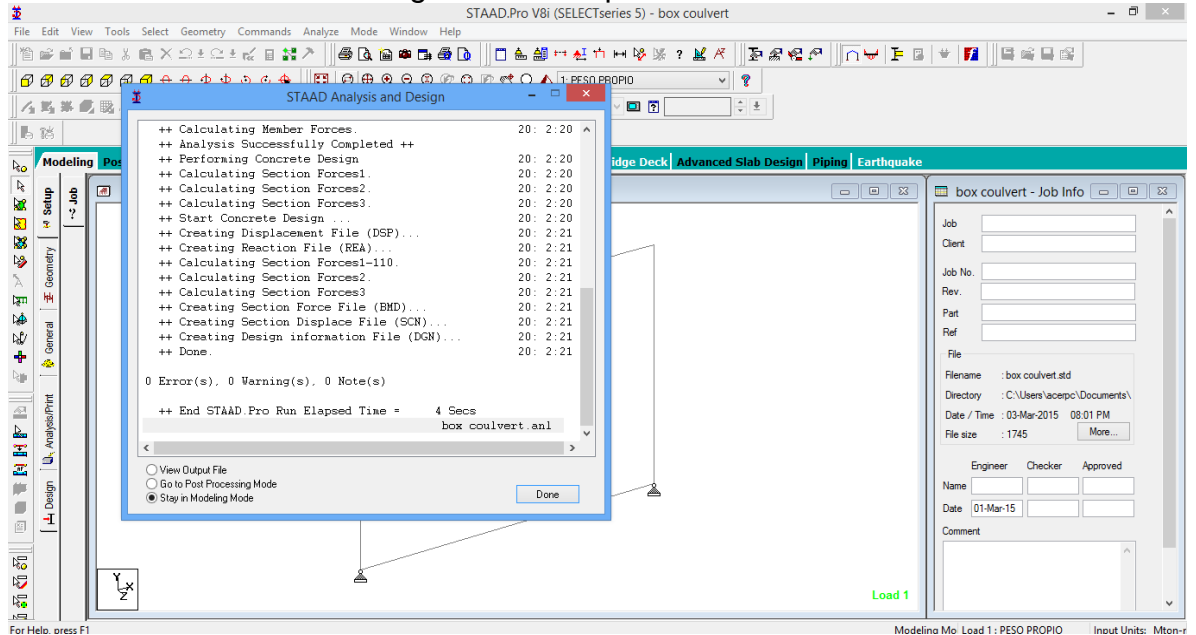
Figura 28. Combinación de cargas



Fuente propia.

Después de agregar todas las cargas y las combinaciones, se realiza el análisis y se verifica que no haya errores ni advertencias, para posteriormente ingresar a la pestaña de *postprocessing* y verificar el diseño (Figura 29).

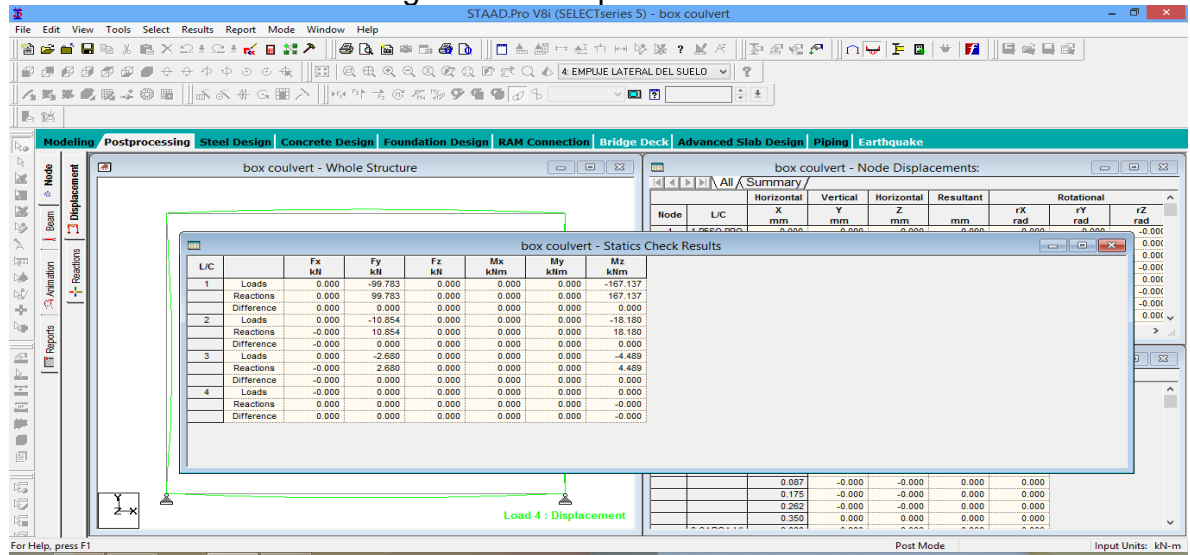
Figura 29. Chequeo de diseño



Fuente propia.

Después del análisis se revisa la tabla de resultados de estática para revisar que la diferencia de todas las reacciones sea igual a cero (0), ósea que la estructura sea isostática (Figura 30).

Figura 30. Chequeo de estática



Fuente propia.

Tras haber confirmado que la estructura este estáticamente determinada, se pueden mostrar los valores de cortante y momentos en las partes más críticas de la estructura (Figura 31 y Figura 32).

Por último, se ingresa al *STAAD output viewer*, donde se puede observar todo el proceso de modelado, desde la información del editor hasta el diseño de concreto. Un aspecto importante para tener en cuenta es que la versión del programa con el que se realiza el modelado no incluye las normas Colombianas vigentes para el diseño de estructuras de concreto, por lo cual los valores del acero dados por el programa se deben tomar como sugerencia, y deben ser confirmados según la norma colombiana.

6. CONCLUSIONES

- La implantación de la propuesta de un box Culvert, no solo sirve para mejorar la morfología de una quebrada, sino que también mejora la movilidad, al permitir el paso vehicular y/o peatonal, sobre este mismo; en pocas palabras sirve de túnel y puente simultáneamente, y además protege una comunidad, ya que puede mitigar un desastre natural, ya sea una inundación o deslizamiento; Lo que lo hace muy atractivo para los proyectos de mejoramiento vial y sistemas de drenaje.
- Según los cálculos, se puede concluir que el flujo obtenido para el tramo de estudio cumple en todas las secciones transversales. Este flujo es el máximo permisible ya que si aumenta se tiene un desbordamiento en una de las secciones.
- Al finalizar el modelaje se obtienen resultados que muestran que la superficie del agua no alcanza la altura del Culvert.
- Se puede concluir que el canal de sección hidráulica optima, cumple con parámetros de campo, ya que el ancho de tope máximo que tiene el tramo natural es de 3.70 metros. También, cumple con la profundidad máxima del segmento, la cual es 2.70 metros. Y, cumple con las recomendaciones de la velocidad máxima para un canal revestido con hormigón pues no es mayor a 6.00 m³/s, el cual para esta sección fue de 5.64 m³/s.

BIBLIOGRAFÍA

AASHTO. (s.f.). *TRANSPORTATION*. Obtenido de <http://www.transportation.org/Pages/Default.aspx>

Academia. (s.f.). Obtenido de http://www.academia.edu/7799970/GLOSARIO_DE_TERMINOS_Ingenier%C3%ADa_civil

Bentley. (s.f.). *Bentley*. Recuperado el 4 de feb de 2015, de <http://www.bentley.com/en-US/Products/STAAD.Pro/>

Box culvert en la ciudad de Villavicencio, Meta. (s.f.). Obtenido de <http://juaning91.blogspot.com/2012/03/proyecto-del-box-culvert.html>

Castaño, J. (s.f.). *Box-Culvert*. Recuperado el 28 de Ene de 2015, de <http://www.aluindustrial.com/index.php/alcantarillado/68-box-culvert.html>

Ciprecon. (s.f.). *Ciprecon ingeniería y prefabricados en concreto*. Recuperado el 28 de Ene de 2015, de <http://ciprecon.com/site/wp-content/themes/kipoo/fichas-tecnicas/box-culvert.pdf>

Criterios de diseño de estructuras complementarias nuevas - Etapa de estudios y diseño. Version 2. (04 de 2008). Obtenido de <http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/bitstream/123456789/28818/5/16266-4.pdf>

GONZALES MERCHAN, G. A., & DE CASTRO PASSEGA, J. M. (ABRIL de 2010). *ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION DE ESFUERZOS VERTICALES EN RELLENOS COMPACTADOS EN COMPARACION CON LA ESTABLECIDA EN EL CCDSP-95*.

INVIAS. (2009). *MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS*. Colombia.

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *TITULO D. SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES*

DOMÉSTICAS Y PLUVIALES. *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO-RAS2000*. Colombia.

MOPC. (s.f.). *Ministerio de obras publicas y comunicaciones*. Recuperado el 04 de 2015, de Modulo III-B diseño de obras viales; VOLUMEN I Especificaciones Técnicas Generales:
<http://www.mopc.gov.py/mopcweb/pdf/1278/anexo%20a4%20-%20et%20hidrologia%20e%20hidraulica.pdf>

prefabricados de concreto. (25 de Jul de 2009). *Box culverts prefabricados*. Recuperado el 28 de Ene de 2015, de (Box culverts [phttps://prefabricadosdeconcreto.wordpress.com/2009/07/25/box-culverts-prefabricados/](https://prefabricadosdeconcreto.wordpress.com/2009/07/25/box-culverts-prefabricados/)

Provincia de Soto y Mares. (s.f.). *espacio en la red para municipios de las provincias de Soto y Mares en el departamento de Santander, Colombia*. Recuperado el 5 de Feb de 2015, de Provincia de Soto y Mares: <http://sotonorte.blogspot.com/>

Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la Real Academia Española* (22 ed.). Madrid, España. Recuperado el 15 de feb de 2015, de <http://www.rae.es/>

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). (s.f.). *Titulo C*. Colombia.

REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO - RAS 2000. (s.f.). *RAS 2000*. COLOMBIA.