

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Las alcantarillas son obras de arte corrientes, integrantes del sistema de drenaje, que permiten la circulación de las aguas de un lado a otro del camino. Se colocarán en los cauces y en los lugares de acceso del camino principal a calles y/o propiedades si fuesen necesarias.

La conservación de una alcantarilla, se entiende por el conjunto de tareas necesarias para asegurar la continuidad de una carretera en buen estado, estas tareas consisten en el mantenimiento, evaluación, remodelación y reconstrucción de una alcantarilla.

El mantenimiento, es el conjunto de operaciones y trabajos necesarios para que una obra conserve las características originales en un mayor número de años de su vida útil, de tal manera que sean serviciales, funcionales, estructurales y estéticas.

La evaluación del proyecto, tiene por objeto determinar su grado de utilidad e impacto en la población de influencia y el medio ambiente, considerando parámetros económicos, sociales y ecológicos que definan la sostenibilidad de un proyecto.

El rediseño de una estructura, es el conjunto de operaciones y trabajos necesarios para que una obra modifique las características previstas en el proyecto, que de alguna manera esta funcionando mal por falta de una conservación adecuada que provoca la variación de algunas variables que provocan destrucciones progresivas. Estas modificaciones pueden consistir en diversas disposiciones entre las cuales pueden ser: refuerzo de la estructura, ampliación de la obra, incremento de las medidas de seguridad vial, etc.

La reconstrucción, es el conjunto de tareas de demolición de una estructura existente y construcción de una nueva en reemplazo, la reconstrucción puede ser parcial y afectar solamente a una o varias partes de los componentes de una alcantarilla (ejemplo: muro de cabecera). Esta reconstrucción va acompañada con un análisis de costos.

Este proyecto de evaluación, rediseño y conservación de alcantarillas se aplicara a un tramo de carretera Muyupampa – Wasurenda, que de alguna manera el estado actual de las alcantarillas está ocasionando problemas en su funcionamiento y por ende se traduce en un deterioro de la carretera.

La construcción de una alcantarilla con relación a una carretera no pavimentada tiene una incidencia económica del orden del 10% al 15%. Esto quiere decir que es de menor importancia, pues el cuidado apropiado mediante un buen mantenimiento permanente prolonga la vida útil de la carretera considerablemente.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto pretende mejorar las condiciones de trabajo de las alcantarillas que apunta a mejorar su nivel constructivo y sus condiciones de aplicabilidad para evitar problemas de destrucción de la carretera del tramo en cuestión.

Dentro de la ingeniería de carreteras el diseño de las alcantarillas fue considerado como una especialidad secundaria que requería una tecnología racional de apoyo, su concepción se resolvía principalmente basándose en la intuición principalmente del proyectista.

La construcción de tales obras, si bien su incidencia en el presupuesto total de la carretera no es considerable económicamente que se realicen sin los recaudos de un adecuado control de calidad. Usualmente los contratistas se basan en su experiencia sin profundizar este importante tema, por lo tanto estos resultados son de muy relativa capacidad técnica en la ejecución de tales obras (diseñadas por metodologías empíricas vigentes).

Todas las obras civiles que se construyen, tienden a deteriorarse hasta quedar obsoletas. Por esta razón y con la finalidad de darle mayor vida útil, es necesario plantear para cada alcantarilla la solución inmediata mediante un proyecto profundo sobre este tema, que esté al alcance de nuestra tecnología y posibilidad.

La durabilidad de una carretera no solo depende de la estructura del pavimento, sino en gran parte depende de las obras de drenaje, entendiéndose que la parte crítica de las redes viales, está en el mantenimiento, tener un sistema de drenaje bien diseñado y evaluado periódicamente para proyectar su conservación es ahora una imperiosa necesidad.

En los últimos años la provincia Luis Calvo ha tenido un crecimiento acelerado de su producción agrícola, por lo tanto existe mayor cantidad de productos frutícolas como así también madera. La comunidad de Muyupampa se caracteriza por producir en abundancia productos frutícolas, hortalizas, papa, maíz, etc., para poder satisfacer las necesidades de Santa Cruz y Camiri. Debe ser uno de los objetivos principales de dotar a este tramo la seguridad de una adecuada transitabilidad durante toda época del año, significando de antemano su progreso. Pero es innegable la existencia de numerosas fallas en el funcionamiento del tramo en cuestión, produciendo serios accidentes, vuelcos y hasta pérdidas humanas. Por esta razón es necesaria la consideración de una adecuada conservación de alcantarillas.

Tal situación me ha motivado a desarrollar un proyecto de investigación que cubra el total de los aspectos técnicos que conciernen el estudio de evaluación y conservación de alcantarillas y obras de arte en carreteras.

En el tramo carretero Muyupampa – Wasurenda existen diversas fallas que no solo se traducen en un deterioro de la carretera, sino también ocasiona daños en el equilibrio del medio ambiente, siendo un tema de mucho interés y relevancia en la actualidad (aminorar el impacto del medio ambiente producido por este tramo).

Para tal efecto es necesario contar con el proyecto de “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DE UNA CARRETERA TRAMO MUYUPAMA – WASURENDA”.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los elementos de una carretera y aplicar metodologías de evaluación y rediseño para dar la solución en su conservación e incrementar la vida útil para el tramo Muyupampa - Wasurenda.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar la incidencia de las características topográficas, geomorfológicas, hidrológicas, etc. en el funcionamiento de las alcantarillas, sobre la base de diferentes sondeos en las carreteras.

Analizar, profundizar y adecuar el estudio de las alcantarillas a las características de la región.

Analizar la incidencia de los factores del impacto ambiental más importantes que influyan en el desequilibrio del medio ambiente debido a las alcantarillas.

Realizar un inventario de las alcantarillas para el tramo en estudio, estableciendo una metodología para ello.

Plantear una metodología de evaluación tomando en cuenta las características físicas, topográficas, condiciones estructurales e hidráulicas.

En función de los resultados que se obtengan de la evaluación de cada alcantarilla en estudio se verificara su funcionamiento en función al área de aporte y la hidrología de la zona en estudio, en caso de obtenerse resultados que no sean positivos se plantea como solución volver a diseñar adecuadamente.

Plantear una metodología de conservación personalizada de acuerdo a las características de las alcantarillas existentes en el tramo en estudio.

Establecer un diagnóstico de las condiciones en las que se encuentran las alcantarillas después de un determinado tiempo de servicio.

Analizar soluciones preventivas de la situación actual en las alcantarillas y la posibilidad de rediseñar en casos extremos del tramo.

Realizar un cálculo del presupuesto de las medidas correctivas que es necesario realizarse para la conservación de las alcantarillas del tramo.

1.4. ALCANCE

Este proyecto tiene el propósito de realizar un estudio profundo del comportamiento y situación actual de las alcantarillas del tramo Muyupmapa – Wasurenda, con el fin de darle una solución a diferentes problemas que tiene dicho tramo; para este fin se pretende:

Estudiar las tendencias de los organismos encargados en dar solución a problemas de deterioro en las carreteras del país, con el fin de plantear una solución más viable, que consiste en un profundo estudio del comportamiento del flujo en las alcantarillas para realizar una metodología de conservación permanente y por consiguiente incrementar la vida útil de la carretera.

Estudiar minuciosamente el tema de alcantarillas para recomendar criterios que se adaptan a diferentes características de las carreteras de la región, comparando los cálculos de proyectos con el comportamiento real del flujo que se está presentando.

Estudiar las propiedades y sus características hidráulicas de las alcantarillas que se adoptó en la construcción del tramo carretero Muyupamapa – Wasurenda, pasando luego a estudiar las características locales en sitio de cada alcantarilla, para adecuar criterios de diseño a los proyectistas y a los futuros proyectos para minimizar posibles errores.

Estudiar todas las variables hidrológicas que intervienen en el tramo en estudio, sobre la base de registros meteorológicos, levantamientos topográficos, levantamientos geológicos, análisis morfológicos, etc. para profundizar el cálculo del comportamiento de la escorrentía superficial de la cuenca de aporte hacia las alcantarillas. Este estudio se realizara en base a metodología propuesta para cuencas pequeñas, además relacionar los resultados teóricos con los que se medirá en campo mediante las marcas que dejo el flujo.

Se realizara la evaluación técnica, hidráulica y ambiental de las alcantarillas del tramo carretero Muyupamapa – Wasurenda, para poder plantear la solución a los problemas que se está acarreado en la actualidad, pasando por un análisis de beneficio-costos de diferentes soluciones para cada caso.

Realizar un planteamiento para una metodología de conservación en las alcantarillas del tramo carretero en estudio, estableciendo las características de sus parámetros y las variables de las alcantarillas de este tramo, para un posterior estudio de conservación que se desee realizar, permitan determinar sus características físicas y mecánicas para poder construir tablas comparativas antes y después del tratamiento de las alcantarillas.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTO
TEORICO

2.1. INTRODUCCIÓN

Las alcantarillas son estructuras civiles que permiten el paso de las aguas superficiales, es necesario que estas obras de arte menor cumplan algunas de las siguientes condiciones:

Ser elementos estructurales contruidos basados en diseños tipo que prevean dimensiones variables en cuanto a sección, largo, profundidad de fundación, pendientes, esviaje, etc.

Luz simple menor a seis metros, según autores americanos.

Largo de la estructura que permita el desarrollo total del coronamiento de la obra básica.

Recubrimiento de terraplén sobre la losa, no siendo utilizada por lo tanto su parte superior como superficie de rodamiento, a fin de evitar asentamientos diferenciales en límite entre la estructura y el terraplén.

2.2. TIPOLOGÍA

1.1.1. 2.2.1. SECCIONES Y MATERIALES


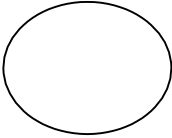
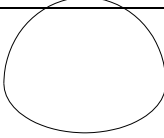
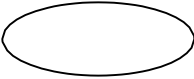
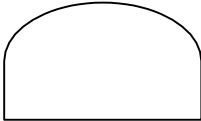
Las formas más usuales de las secciones transversales responden a circulares, para reducidos caudales de descarga, y rectangulares para caudales mayores.

Se presentan además secciones abovedadas y ovaladas, que tienen la ventaja sobre las circulares de permitir mayor escurrimiento de agua con menor altura de la alcantarilla.

En relación con los materiales utilizados en la construcción de las alcantarillas, son en función de la proximidad a las fuentes de origen de los mismos.

Los tipos más comúnmente utilizados corresponden a los indicados en la siguiente tabla.

Tabla 1. Tipos usuales de alcantarillas.

TIPO	SECCIÓN	MATERIAL
Rectangular		Hormigón Mampostería Madera
Circular		Hormigón Chapa ondulada cincada
Abovedado		Chapa ondulada cincada
Ovalado		Chapa ondulada cincada
Bóveda		Hormigón Mampostería Hormigón y chapa cincada

2.2.2. ANÁLISIS CONCEPTUAL DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Las alcantarillas están sometidas a dos estados de carga principales:

Solicitaciones debidas a las cargas del tránsito: su valor se hace máximo cuando no hay recubrimiento de terraplén sobre el conducto (tapada).

Solicitaciones debidas al paso del terraplén: se incrementan en la medida que aumenta la tapada.

En secciones circulares o abovedadas deben adoptarse espesores apreciables de tapada mínima (del orden de 0.50 a 0.60 m) para obtener estructuras razonablemente económicas.

Se presenta un rango de tapadas (en el orden de 1.00 a 2.00 m) en que las solicitaciones asumen su más bajo valor.

2.3. MEDIDAS MÍNIMAS

No se recomiendan dimensiones en la sección transversal inferiores a 1.00 m ya que deben permitir el pasaje de operarios para efectuar operación y mantenimiento en las alcantarillas.

En caso de alcantarillas ubicadas en cursos (permanentes o no) con arrastres de troncos, ramas, piedras, etc., deben diseñarse aberturas tales que no provoquen taponamiento ni obstrucciones perjudiciales.

2.4. LUCES MÚLTIPLES

Cuando la luz de la alcantarilla requiera valores elevados, razones de orden técnico, económico y/o constructivo pueden aconsejar el diseño de varias luces adosadas (con pilares intermedios). Estas estructuras reciben el nombre de luces múltiples, figura 1.

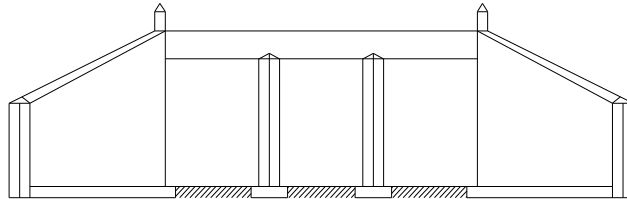
Cuando las luces se integran con secciones circulares o similares, las estructuras se designan con el nombre de batería de caños, figura 1.

Diseñar luces múltiples no es aconsejable en lo que hace el aspecto hidráulico ya que bajo ciertas condiciones, se produce un mayor escurrimiento en una de las luces. Ello ocasiona un aumento localizado de la velocidad provocando erosiones del lecho.

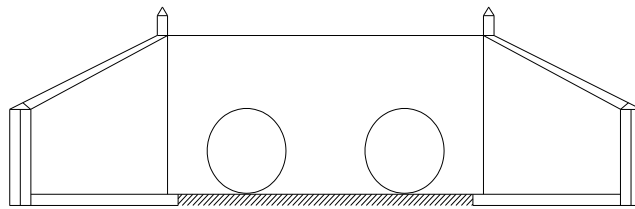
Estas consideraciones aconsejan diseñar alcantarillas de luces múltiples cuando se varía el ángulo de esviaje del curso, o cuando el escurrimiento de las aguas presenta elevadas velocidades y/o arrastre de materiales (piedras, ramas, troncos, etc.)

Para secciones rectangulares no se estima conveniente el diseño de alcantarillas múltiples con luces unitarias inferiores a 2.00 m.

Figura 1. Luces múltiples batería



a) Sección rectangular



b) Batería de caños

2.5. TALUDES DE TERRAPLÉN SOBRE LAS ALCANTARILLAS

Se ha observado que los taludes de los terraplenes adyacentes a las alcantarillas construidos con pendientes 2:3 o mayores, no presentan condiciones favorables para una adecuada estabilidad y necesitan frecuentes tareas de conservación (es común que se produzcan desmoronamientos obstruyendo parcialmente los terminales de los conductos).

2.6. MUROS DE CABECERA

2.6.1. GENERALIDADES

Reciben tal denominación las obras realizadas en los extremos de los conductos, que les confieren los siguientes beneficios:

Incrementan a eficiencia hidráulica de la alcantarilla.

Retienen el talud de los terraplenes disminuyendo la longitud del conducto.

Previenen la erosión y la socavación tanto a la entrada como a la salida de la obra.

Sirven de anclaje a la alcantarilla y controlan posibles infiltraciones.

Mejoran la apariencia estética.

Si bien la función hidráulica que cumplen en una alcantarilla el muro de entrada y el muro de salida es indistinta.

A la salida del conducto el agua adquiere mayor velocidad, alcanzando su valor máximo a una distancia aproximadamente igual a dos veces el ancho del conducto ($2L$). Este valor supera la velocidad en el interior del conducto, según el investigador Walenti Jarocky en los siguientes porcentajes:

Salida libre:

Alas entre $0^\circ - 20^\circ$: 30%

Alas entre $30^\circ - 45^\circ$: 20%

Salida sumergida:

Alas entre $0^\circ - 20^\circ$: 20%

Alas entre $30^\circ - 45^\circ$: 10%

Las transiciones del talud del terraplén entre los remates verticales de los muros y el terreno natural reciben la denominación de conos terminales.

La falta de estos conos terminales provoca daños en los taludes de los terraplenes en adyacencias de los muros.

1.1.2. 2.6.2. TIPOLOGÍA

Con relación a su geometría se presentan dos formas típicas de muros de cabecera:

Muros de vuelta.- son aquellos construidos paralelos al eje de la carretera, se emplean en escurrimientos con bajos caudales o en cauces indefinidos. Son utilizados usualmente en alcantarillas para accesos a propiedades.

Su uso es obligado cuando la topografía del emplazamiento es tan quebrada que no admite la construcción de muros de ala.

Muros de ala.- su ángulo varía entre 30° y 75° con respecto al eje longitudinal del conducto, presentando una mejor eficiencia hidráulica en relación a los muros de vuelta.

Figura 2. Muros de alas sin aletas

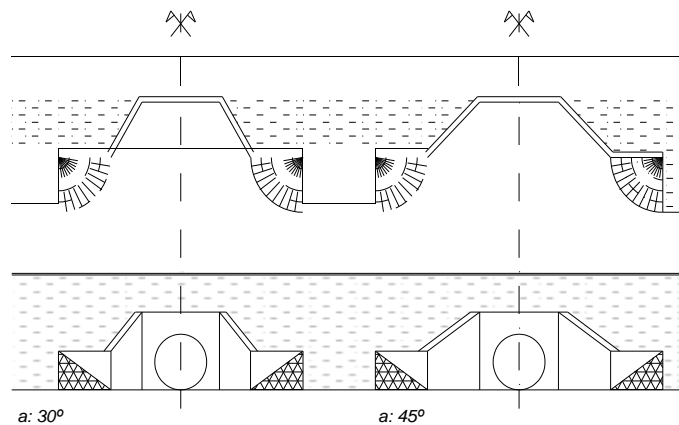


Figura 3. Muros de alas con aletas

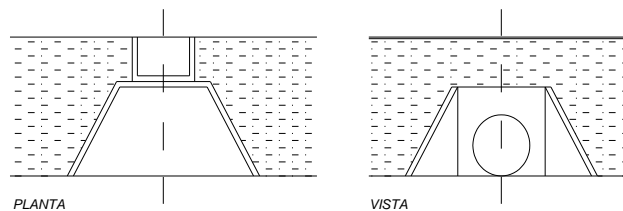
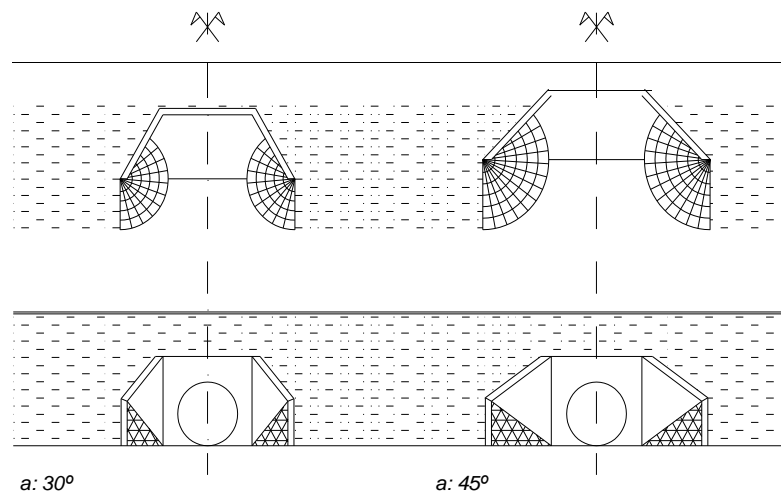


Figura 4. Muros con alas terminales a nivel del terreno



2.7. ALCANTARILLAS SIN CABECERAS

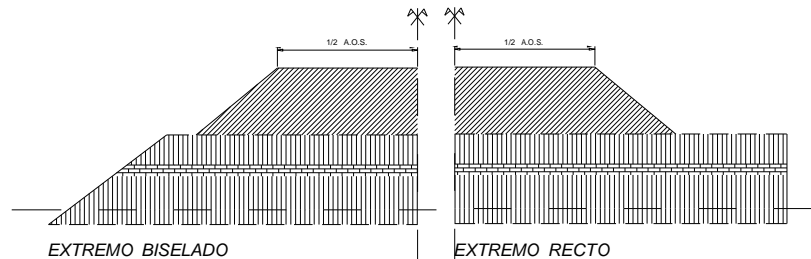
Se considera que una alcantarilla tiene extremos prolongados cuando el conducto se continúa hasta no menos de la intersección del plano del talud del terraplén con el del terreno natural.

Esta embocadura tiene menor eficiencia hidráulica y se la emplea cuando son remotas las posibilidades de procesos erosivos. En general esta solución resulta más económica que la construcción de muros propiamente dicho (mayor longitud de conducto versus muro de cabecera).

Los extremos prolongados no permiten un adecuado control de la infiltración ni aportan el anclaje del conducto en caso de fuertes pendientes longitudinales.

Son además inadecuados para resistir cargas hidráulicas e impactos de arrastres, y no controlan el empuje de tierra de los terraplenes.

Figura 5. Alcantarillas sin cabeceras



Se presentan tres clases de extremos prolongados:

Extremos rectos.- son los más simples y están conformados por plano recto vertical normal al eje del conducto.

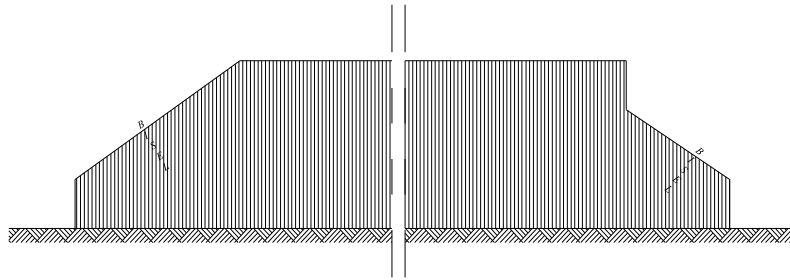
Extremos biselados.- denominados también chaflanados o tipo silbato, se conforman acompañando el talud de los terraplenes. El corte se realiza sobre un plano perpendicular al plano vertical que contiene el eje longitudinal del conducto.

Tienen la ventaja de ofrecer mejor configuración estética que los extremos rectos, en especial cuando se complementan con revestimiento de taludes.

El ángulo del bisel no debe ser inferior a 27° (talud 1:2) ya que disminuirá notablemente la resistencia estructural del conducto. Usualmente se diseñan con una pendiente de talud de 2:3.

Extremos mixtos.- esta solución tiende a disminuir los inconvenientes de la menor aptitud hidráulica y la poca resistencia estructural que presentan los extremos biselados. La aptitud hidráulica se mejora dejando el extremo recto hasta una elevación del orden del 25% de la altura del conducto, y recién entonces se inicia el bisel.

Figura 6. Alcantarillas sin cabeceras con extremos mixtos



En conductos de chapa ondulada obrada de gran magnitud se complementan las medidas citadas anteriormente con la construcción de una viga anular de refuerzo.

2.8. ALCANTARILLAS NORMALES Y ESVIADAS

Se dice que una alcantarilla es normal cuando las proyecciones horizontales del eje longitudinal del conducto y del eje del camino son perpendiculares. Cuando esto no ocurre se dice que la alcantarilla es esviada (también suele emplearse el termino sesgada).

El esviaje permite evitar la problemática que presentaría el ingreso del escurrimiento de las aguas de un cauce con una dirección diferente a la del conducto.

A medida que se incrementan los caudales y/o los cauces adquieren definición mayor debe ser la coincidencia entre el ángulo de esviaje del conducto y el del escurrimiento.

Para estas condiciones pueden arbitrarse dos soluciones: modificar el cauce con el objeto de lograr un cruce lo más normal posible al camino, o diseñar el conducto con el esviaje adecuado.

Así como criterio genérico, puede consignarse que una alcantarilla debe ser ubicada tratando de perturbar lo menos posible el cauce original del escurrimiento.

La elección del ángulo de quiebre debe ser realizada considerando la capacidad de arrastre de sólidos que posee el escurrimiento y las problemáticas emergentes de posibles embancamientos y depósitos de materiales en el interior del conducto. En estos casos las alcantarillas deben ser diseñadas con platea para lograr un mejor funcionamiento hidráulico y facilitar las tareas de mantenimiento.

La resolución del diseño de alcantarillas con esviaje mayor 45° no debería ser contemplada como caso genérico en los planos tipo.

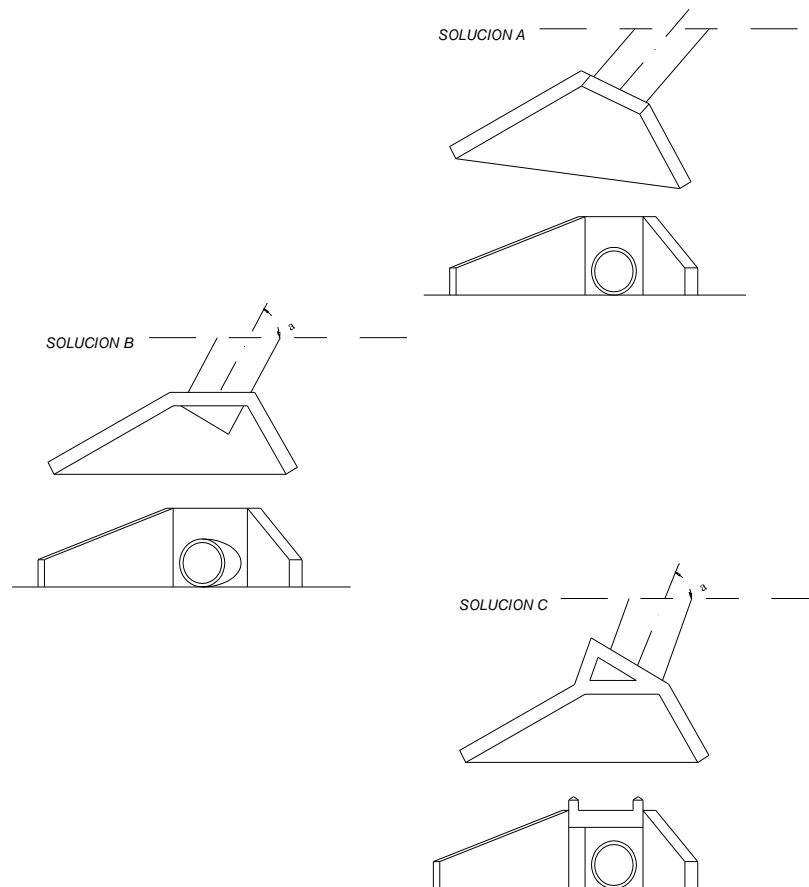
2.9. PENDIENTES

Los conductos deben tener una pendiente mínima a fin de asegurar la mayor eficiencia hidráulica posible. Esto se logra diseñando pendientes no inferiores a la crítica, de manera de garantizar un funcionamiento hidráulico con control de entrada.

En caños de hormigón no deberían diseñarse pendientes inferiores a 0.5 %.

En alcantarillas de hormigón de sección rectangular con platea, la pendiente mínima será en función de la altura del escurrimiento. Podría establecerse que secciones de baja altura, pendientes del orden de 0.5% superan la pendiente crítica, mientras que son necesarias pendientes del orden de 1.2% para elevadas alturas.

Figura 7. Muros en alcantarillas esviadas.



En conductos de chapa ondulada cincada la pendiente mínima será función del tipo de ondulación, diámetro y profundidad del escurrimiento. Pendientes del orden de 1.3% a 2.7% asegurarían el escurrimiento crítico. Estos valores se reducen entre 25% y 30% si el fondo del conducto es pavimentado.

Las alcantarillas con fuertes pendientes suelen presentar problemas específicos, entre los cuales pueden mencionarse:

Empuje: la carga hidráulica que actúa sobre la entrada de una alcantarilla sometida a caudales máximos es variable y muy difícil de evaluar. Esto suele verse agravado por la constricción provocada por el arrastre de rodados.

Infiltración: es el fenómeno provocado por el pasaje de agua entre el conducto y la fundación o el terraplén adyacente.

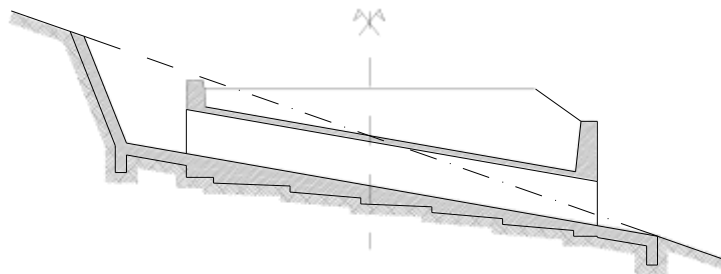
Arrastres: el arrastre de grandes piedras puede obturar la entrada del conducto disminuyendo su capacidad hidráulica.

Erosión: deben preverse obras complementarias a la salida del conducto de manera de controlar posibles procesos erosivos.

Abrasión: es la pérdida progresiva de material del conducto debido al efecto abrasivo de los sólidos arrastrados por el agua. Para que este proceso sea significativo debe haber arrastre de material, suficiente caudal y elevada velocidad de escurrimiento.

Una solución usual para disminuir la pendiente del conducto es profundizar el lecho de entrada, previendo una embocadura que debe ser diseñada de manera de controlar los procesos erosivos.

Figura 8. Profundización del lecho en la entrada.



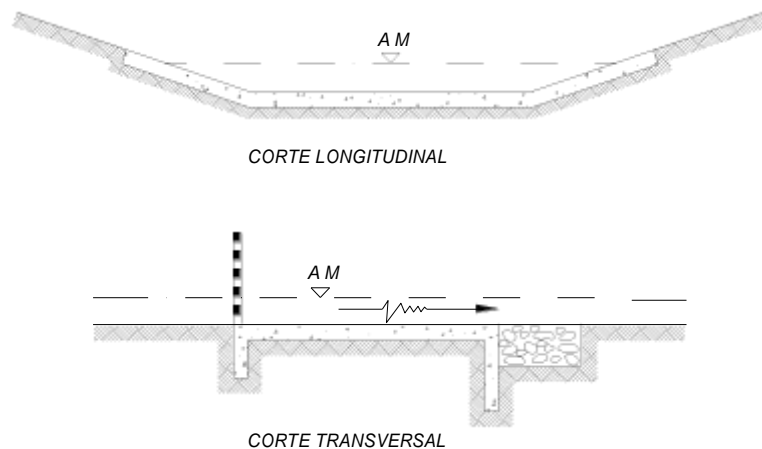
2.10. BADENES Y ALCANTARILLAS BADENES

En caminos de bajo tránsito (los costos deben ser reducidos al máximo) se suele utilizar un tipo de obra denominada badén, en donde el escurrimiento de las aguas se produce por sobre la carretera. Esta estructura recibe también la denominación de vado, hamaca u hondonada.

Su empleo está limitado a cuencas no muy extensas, ya que las máximas crecidas deben ser de corta duración para permitir un pronto restablecimiento del tránsito.

La obra se construye en hormigón, con dientes aguas arriba y abajo de la corriente para controlar la socavación. Aguas abajo se suelen construir colchones de gaviones ya que es la zona más expuesta a la erosión.

Figura 9. Badén



Deben colocarse carteles de prevención advirtiendo la presencia del badén.

El diseño hidráulico suele hacerse con un tirante máximo de agua de 1.00 m en caso de crecientes extraordinarias, y de 0.30 a 0.40 m para crecientes ordinarias.

2.11. FUNDACIÓN DE ALCANTARILLAS

2.11.1. GENERALIDADES

Las alcantarillas son obras de arte que por estar ubicadas en los bajos están fundadas generalmente sobre terrenos de baja calidad. En estas condiciones es usual encontrar terrenos de relleno poco consolidados debido a procesos de socavación durante escurrimientos extraordinarios y posterior relleno.

Esto hace necesario realizar estudios de suelo para la fundación de todas las obras de arte de una obra caminera, tarea que no se realiza usualmente.

2.11.2. FUNDACIONES SOBRE SUELOS

Los estudios de suelos deben comprender como mínimo las siguientes determinaciones: humedad natural, constantes físicas, sales solubles totales, sulfatos, granulometría, clasificación de Casagrande y ensayo de penetración estándar.

Se estima conveniente realizar como mínimo dos sondeos por obra, cualquiera sea la superficie cubierta por la misma, y que cada sondeo cubra un área no mayor de la de un círculo de diez metros de radio. En caso que se comprueben condiciones geotécnicas muy heterogéneas se intercalaran sondeos para definir con precisión el perfil resultante.

2.11.3. FUNDACIONES SOBRE ROCA

El comportamiento de la roca como material de fundación presenta características distintas al de los suelos, pero en grado diferente según se trate de grandes o de pequeñas cimentaciones. Si bien no hay un límite establecido entre ambas categorías, el caso en estudio (zapatas de muros, pilas o estribos) se encuadra netamente dentro del área de las pequeñas cimentaciones.

En este caso las tensiones que ellas originan sobre la masa de fundación afectada son muy bajas frente a las resistencias de la roca, lo cual hace que esta se manifieste a veces como un material frágil. En estas condiciones el comportamiento de la roca es errático y la rotura se origina en los defectos tales como poros, fisuras, diaclasas, etc.

Esta problemática se soluciona en la práctica adoptando coeficientes de seguridad muy conservativos.

La norma DIN 1054 consigna para roca poco diaclasada, sana, no meteorizada, y con estratificación favorable los valores indicados en la tabla 2.

Tabla 2. Cargas admisibles sobre roca norma DIN 1054

Descripción de la roca	Carga admisible (Kg/cm²)
Con estratificación marcada	15
En estado masivo o columnar	29
Para rocas muy diaclasadas o con estratificación muy desfavorable reducir los valores a la mitad.	

2.12. ASENTAMIENTO DE LA FUNDACIÓN DE CONDUCTOS PREFABRICADOS

El peso del terraplén sobre un conducto provoca una consolidación del terreno de fundación, que puede producir asentamientos diferenciales respecto a su plano original de fundación o a la proyección que se tenía antes de la construcción.

Estos asentamientos son en función de la altura del terraplén, del espesor del manto del suelo de fundación, de la susceptibilidad de este suelo a la consolidación, y de la calidad del proceso constructivo.

2.13. ABRASION

Se designa con el nombre de abrasión a la erosión y desgaste del material de una obra de arte debido al impacto de los sólidos acarreados por las aguas.

Se trata de un fenómeno físico y su magnitud dependerá de la frecuencia, del caudal y duración del evento, cantidad y características del material de arrastre, velocidad del escurrimiento y material componente del conducto.

Este proceso adquiere mayor gravedad cuando se presenta simultáneamente alguna acción corrosiva del agua o del suelo adyacente.

Este problema puede ser solucionado mediante dos procedimientos: diseño de dispositivos tendientes a disminuir la velocidad del escurrimiento, o recubrimiento y/o refuerzo de la superficie del conducto sometida a abrasión.

2.14. CORROSIÓN

2.14.1. GENERALIDADES

Se define como corrosión a la acción química electrolítica y/o orgánica que produce un medio ambiente agresivo sobre un material provocando su deterioro.

En función de la agresividad potencial del medio ambiente se pueden clasificar las obras de arte en las siguientes categorías:

Fuera de agua: son aquellas obras que no estarán sometidas a la acción del agua.

Expuestas a aguas blandas: son aquellas obras que estarán en contacto con aguas blandas durante periodos significativos (superiores al 10% del tiempo de servicio de la estructura). Se consideran aguas blandas en que el tenor de cloruros o sulfatos es menor de 250 mg/l.

Especiales: son aquellas obras cuyas características no están comprendidas en las dos categorías antes descritas.

El proceso corrosivo puede responder a fenómenos químicos electrolíticos, bacterianos, o a una acción entre los mismos.

2.14.2. MEDIO CORROSIVO

El ambiente que rodea la estructura (suelo, agua y atmósfera) es portador potencial de agentes corrosivos, y cada uno de estos medios tienen particularidades propias en cuanto a su incidencia en los procesos corrosivos.

- a) Suelo: la agresividad de un suelo se incrementa en la medida que aumenta su concentración de sales solubles.
- b) Agua: el agua libre o de condensación, es un medio favorable para el desarrollo de procesos corrosivos.

2.15. EMBANCAMIENTO Y EROSIÓN

2.15.1. CONCEPTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

1. Descripción del fenómeno: en un punto dado de un cauce sometido cíclicamente a diferentes caudales, existe un balance entre los materiales sólidos que trae el agua desde el curso superior, los que deposita y/o remueve en ese punto y los que transporta hacia el curso inferior.

En épocas de estiaje se produce depósito de material que rellenan las erosiones acaecidas en los periodos de crecidas.

2. Transporte de sólidos: el transporte natural de sólidos puede verificarse según tres medios; eólico, coluvial y aluvial.

El transporte eólico es el producido por el viento y su efecto no tiene mayor incidencia sobre las obras de arte. Puede contribuir a la obstrucción de los conductos con el transporte de arbustos secos que suelen ser detenidos en la embocadura de las alcantarillas.

El transporte coluvial es el que se produce por acción de la gravedad, con o sin ayuda del agua, pero sin intervención de este medio de transporte.

El transporte aluvial es el que se produce por medio de los escurrimientos de agua. Tiene varias modalidades en relación al comportamiento mecánico de las partículas pudiendo discriminarse cuatro tipos de transporte:

De fondo, llamado también de rodadura o por tracción, que se produce cuando la partícula en su movimiento, se despega del fondo hasta una altura no mayor que su diámetro.

En saltación, cuando la partícula, en su traslado se levanta del fondo a distancias comprendidas entre 1 y 1000 veces a su diámetro para volver luego a caer.

En suspensión, si la partícula es retenida por la corriente durante grandes distancias.

En disolución, cuando el material integra con el agua una solución.

2.15.2. OBSTRUCCIÓN DE ALCANTARILLAS

1. Consideraciones generales

La construcción que ocasiona en un cauce una alcantarilla, si bien provoca un incremento de la velocidad dentro del conducto e inmediatamente aguas abajo del mismo, produce una disminución de la velocidad aguas arriba debido al remanso de la entrada (la energía cinética se transforma en potencial), y presenta características propicias para la retención de aportes sólidos. Estas situaciones entorpecen el transporte de sólidos, creando condiciones que favorecen su deposición.

Esto adquiere notable significación en caminos de montaña y en regiones con suelos friables.

En un principio podría establecerse una clasificación genérica de los materiales y sus modos de transporte:

Coluvial: bloques, gravas, etc.

Aluvio-coluvial: fragmentos de rocas, rodadas, gravas, etc.

Aluvial: arrastres flotantes arboles, troncos, arbustos, animales, etc.

Arrastres fluentes: material en suspensión como arcillas, limos, arenas, gravillas, etc.

Acarreo de fondo: rodados, fragmentos de roca, gravas, etc.

Riadas de barro.

El primer elemento a considerar en un control de arrastres es la dimensión de la sección del conducto. Esta debe guardar relación dentro de lo económicamente posible, con la dimensión de los arrastres. Además debe

permitir en condiciones adecuadas, el paso del personal de conservación, tanto para su inspección como para las operaciones de limpieza y mantenimiento.

Es fundamental en zonas con embancamientos potenciales diseñar alcantarillas suficientemente amplias que permitan las tareas de limpieza. En estas obras no debe permitirse la obstrucción del conducto ya que, en ocasiones de avenidas de máxima, el escurrimiento puede no ser suficiente para realizar una auto limpieza fluyendo el agua por sobre el terraplén.

En todos los casos de escurrimientos con apreciable presencia de arrastres, el real control de las obstrucciones solo está asegurado mediante una continua y sistemática inspección de las obras.

En relación a la tipología de los dispositivos para el control de las obstrucciones, los arrastres pueden ser clasificados en:

Arrastres flotantes livianos: ramas pequeñas, varillas o rezago de poda de árboles, restos de basuras, etc.

Arrastres flotantes medios: ramas, palos, restos de infraestructuras, animales muertos, etc.

Arrastres flotantes pesados: arboles, troncos, raigambres, etc.

Detritos finos: materiales finos arrastrados por las aguas tendientes a sedimentar con la disminución de la velocidad de la corriente.

Detritos gruesos: gravas o fragmentos de roca.

Rodados o rocas.

2. Tipología de los dispositivos para control

Los dispositivos mas usualmente empleados en el control de obstrucciones y embancamientos son: deflectores, rejas, jaulas, aletas terminales, chimeneas, bateas de sedimentación y presas con cuencas de sedimentación.

Tabla 3. Dispositivos para control de arrastres

ARRASTRES	DISPOSITIVOS						
	deflector	reja	jaula	terminal de pilas	chimenea	batea sedimentación	presa y deposito
Flotantes livianos		—	—				
Flotantes medios	—	—					
Flotantes pesados	—			—			
Masas fluidas					—		—
Detritos finos					—	—	—
Detritos gruesos			—				—
Rodados o rocas	—						

a. Deflector de arrastres

La función del deflector es apartar de la corriente durante las crecidas de máxima los arrastres medios y pesados y los rodados y rocas, acumulándolos en áreas de almacenamiento para su posterior remoción mediante tareas de mantenimiento.

El deflector de arrastres está constituido por caños o perfiles de hierro (son muy apropiadas las rieles en desuso de ferrocarril) o postes de madera, con suficiente rigidez para absorber el impacto del material en movimiento, empotrados en el suelo y dispuestos sobre su proyección horizontal en forma de V con el vértice orientado hacia aguas arriba.

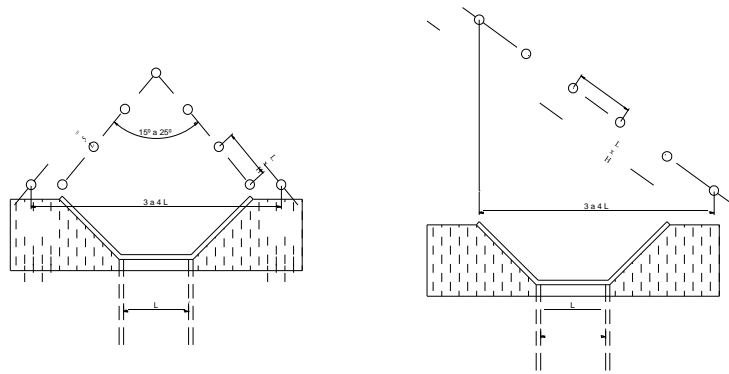
La medida de la hipotética base que cierra la V no debe ser inferior a 3 o 4 veces la luz total de la alcantarilla.

El ángulo del vértice debería estar comprendido entre 15° y 25° .

Los puntales son arriostrados mediante vigas horizontales que complementan el dispositivo y que le dan una rigidez integral al sistema. El espaciamiento horizontal entre vigas no debería ser menor que la mitad de la menor dimensión del conducto.

Las condiciones planialtimétricas a la entrada del conducto pueden hacer más conveniente el diseño de una sola línea de puntales inclinada hacia un lado de la entrada. En estos casos se dispone de una menor resistencia estructural.

Figura 10. Deflector de arrastres



b. Rejas

Las rejas admiten la retención de materiales de menor dimensión. Son colocadas en forma vertical o inclinada, con su proyección horizontal normal al eje de la corriente. Su altura debe alcanzar el máximo pelo de agua estimado para diseño.

Si el escurrimiento tiene cauce bien definido puede ser conveniente colocar la reja aguas arriba de la alcantarilla

c. Jaulas

Son dispositivos para control de obstrucciones con eficiencia en arrastres de flotantes livianos y detritos gruesos, en alcantarillas de secciones reducidas.

Se construyen con vigas prefabricadas de hormigón o de madera, con un formato tipo jaula para pescados, cubriendo la entrada de la alcantarilla.

El espaciamiento entre tirantes oscila entre 0.15 y 0.20 m.

d. Terminales de pilas

El terminal de pila es un muro de pared delgada de hormigón, acero o madera dura, construido como continuación de las pilas, sobre el cauce en adyacencias de la entrada de la alcantarilla, paralelo al sentido de la corriente.

Controla arrastres flotantes pesados, y su función es orientar tales arrastres en su menor dimensión, para facilitar su paso por el interior de la alcantarilla.

La altura del muro debe coincidir con la altura de la alcantarilla a la entrada y se obtiene una mayor eficiencia si la altura disminuye progresivamente. Se suelen diseñar estas pendientes en el orden de 1:2. La longitud del muro puede ser el doble de su altura a la entrada.

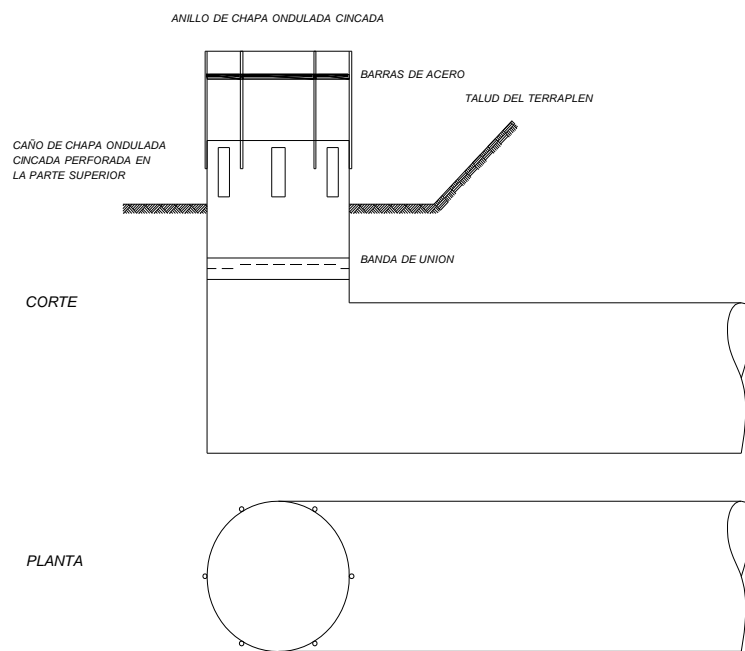
e. Chimeneas o tubos verticales

Consisten en conductos verticales adosados por medio de acodos a la entrada de la alcantarilla. Este tipo de control es usado donde se prevé

una considerable altura de embaucamiento de materiales finos, o donde los arrastres consisten en masas fluentes de arcillas o limos.

Estas estructuras son muy poco estables y solo admiten escurrimiento de bajo caudal, reducida velocidad y sin arrastre de materiales medianos o gruesos.

Figura 11. Esquema de chimenea.



En general su uso está limitado a conductos con diámetros inferiores a 1.40 m. Debido a su funcionamiento hidráulico presentan embancamientos en el interior del conducto obligando a un frecuente mantenimiento.

El diámetro de la chimenea debería ser mayor en 0.30 m respecto a la dimensión del conducto, y su diámetro no ser inferior a 1.00 m para permitir el acceso para el mantenimiento.

Las chimeneas presentan en sus paredes ranuras o perforaciones para el ingreso del agua, pero estos agujeros no tienen la capacidad ante avenidas de máxima, debido a que son obstruidos por flotantes

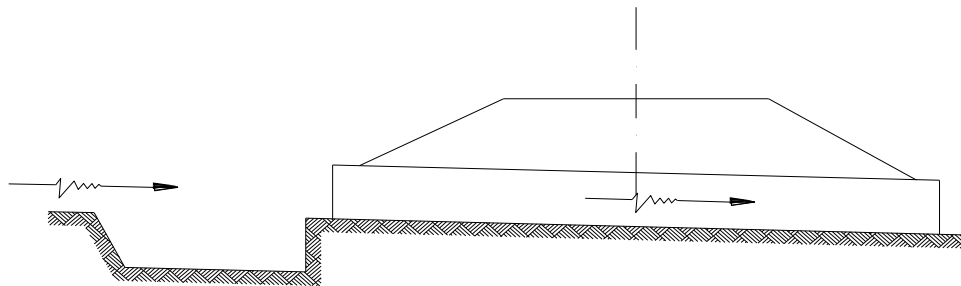
livianos. Estos dispositivos se construyen con chapa ondulada cincada. Se suele reforzar la superficie interior del codo con un recubrimiento de hormigón, dado que es una zona sometida a fuerte abrasión.

Las chimeneas suelen construirse sobre la alcantarilla, inmediatamente después del muro de cabecera, actuando en estos casos como un dispositivo de seguridad ante eventuales taponamientos en la entrada durante escurrimientos de máxima.

f. Batea de sedimentación

La problemática de embanques con materiales finos en cuencas de poca magnitud puede ser resuelta con bateas de sedimentación a la entrada.

Figura 12. Batea de sedimentación.



g. Presas y cuenca de sedimentación.

En escurrimientos que arrastran grandes cantidades de sedimentos pesados, los dispositivos anteriormente descritos no alcanzan a controlar el material depositado.

Este sistema se compone de una presa sobre el cauce arriba del conducto, y una cuenca de sedimentación aguas arriba de la presa que permita el depósito del material arrastrado.

2.15.3. EROSIÓN DE ALCANTARILLAS

1. Generalidades

El fenómeno de erosión en la zona de emplazamiento de las alcantarillas suele tener causas diversas. Entre las más frecuentes pueden mencionarse: obstrucción del conducto, cambio de dirección de la corriente, estrechamiento del cauce debido a la implantación de la alcantarilla, velocidad excesiva del escurrimiento, y erosión retro cedente del cauce.

En general, las alcantarillas no colapsan ante un solo evento de gran magnitud, sino que el colapso sobreviene como consecuencia de una serie progresiva de procesos erosivos que culminan socavando el plano de fundación.

2. Obstrucción del conducto

La obstrucción de la abertura del conducto, provocada por piedras o rodados de gran tamaño, puede disminuir la sección hidráulica del mismo, localizando el escurrimiento e incrementando la velocidad hasta valores superiores a los admisibles. El control de este nuevo evento se realiza mediante un adecuado plan de mantenimiento. En caso que este procedimiento no sea suficiente, puede ser necesario el diseño de dispositivos que controlen tales obstrucciones.

3. Cambio de dirección de la corriente

Debido a causas de cualquier naturaleza puede modificarse la dirección de la corriente dentro del cauce aguas arriba de la alcantarilla, cambiando el esviate del escurrimiento respecto al eje del conducto. Este fenómeno provoca la localización de procesos erosivos sobre uno de los lados de la embocadura.

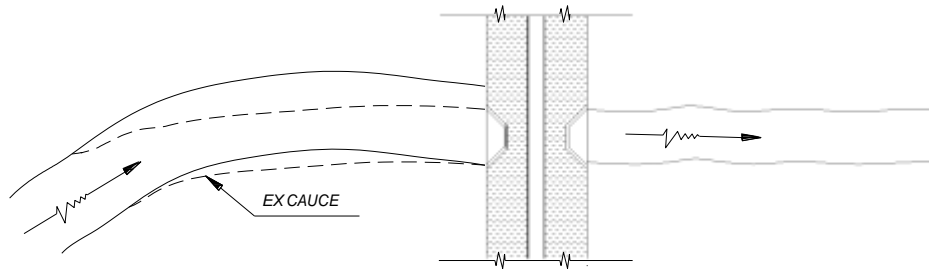
El control de este evento solo puede lograrse mediante la regularización del curso en un tramo suficientemente extenso aguas arriba de la alcantarilla y una reparación de los daños producidos.

También puede lograrse una solución que contemple ambos procedimientos: regularización parcial del cauce y protección de la zona afectada.

4. Estrechamiento del cauce

El estrechamiento que provoca la alcantarilla produce una localización del escurrimiento y un incremento de la velocidad. Este hecho favorece la erosión en V de la solera en cauces formados por suelos friables finos, aguas debajo de la obra de arte. Este proceso puede controlarse mediante un enrocamiento o engavionado del cauce en una sección de longitud adecuada aguas abajo del conducto.

Figura 13. Cambio de la dirección de la corriente



5. Velocidad excesiva del escurrimiento

La constricción que produce una alcantarilla en un cauce transforma energía potencial en energía cinética, elevando la velocidad del escurrimiento dentro del conducto y en un tramo del cauce en adyacencias a la desembocadura. Cuando esta velocidad excede los valores admisibles se produce la erosión del lecho.

Durante el dimensionamiento hidráulico de la sección del conducto debe verificar que la velocidad del escurrimiento no sobrepase los límites admisibles.

Los elementos más usuales que se disponen para el control de erosión son: enrocamientos, engavionados, muros, tablestacados, dientes de protección de fundaciones, disipadores de energía, saltos rápidos, etc.

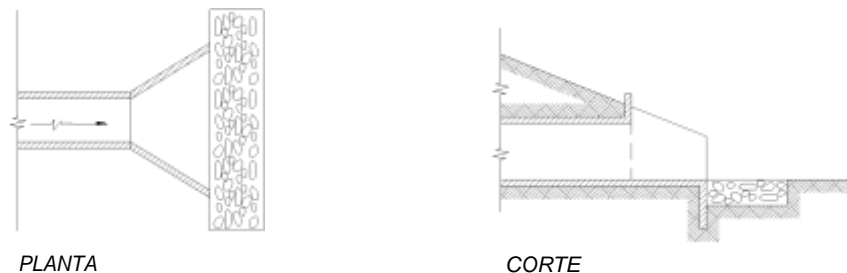
Los más efectivos son aquellos que conforman estructuras no rígidas, ya que admiten un reajuste, sellando comienzos de la erosión sin colapso de la obra.

El diente de protección de la fundación debe ser previsto en todo diseño de suficiencia posibles socavaciones a la salida del conducto.

La erosión en el fondo del conducto se controla mediante platea de hormigón. Esta platea, en el caso de alcantarillas con muros de ala, suele continuarse a la salida del conducto propiamente dicho (recibe el nombre de platea adicional), cubriendo el área comprendida entre alas.

Las obras más simples para el control de una erosión moderada consisten en una protección a la salida del conducto mediante un enrocamiento o engavionado, cubriendo una longitud no menor de cinco veces la altura prevista para el escurrimiento dentro del conducto. Esta longitud incluye la de la platea adicional en aquellos casos que este prevista.

Figura 14. Terminal de alcantarilla protección con gaviones o enrocamiento



Para velocidades muy por encima de las admisibles se requieren la previsión de disipadores de energía. Estos pueden consistir en: batea con enrocamiento, batea de hormigón, y batea conformada con gaviones de alambre.

Los saltos conformados con gaviones deben construirse inmediatamente aguas debajo de los muros de ala. En casos de muros de vuelta puede preverse un elemento de transición de hormigón.

Los rápidos de hormigón con sección planimétrica rectangular o trapezoidal, deben integrarse con el terminal de la desembocadura y prever dientes disipadores de energía y batea terminal.

Figura 15. Disipadores de energía y batea terminal

Figura 15.1 Terminal de alcantarilla batea con enrocamiento

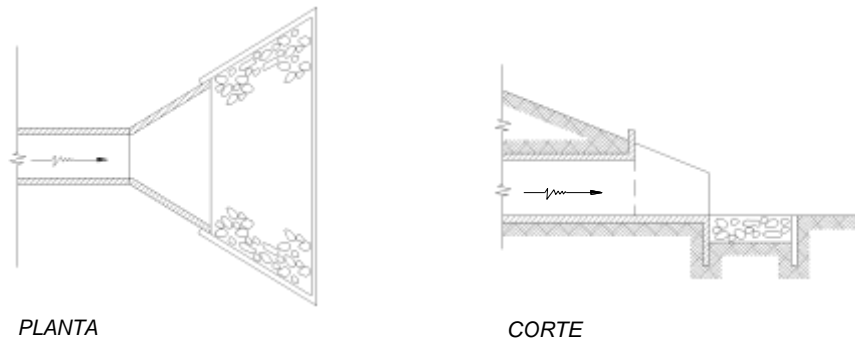


Figura 15.2 Terminal de alcantarilla con batea de hormigón

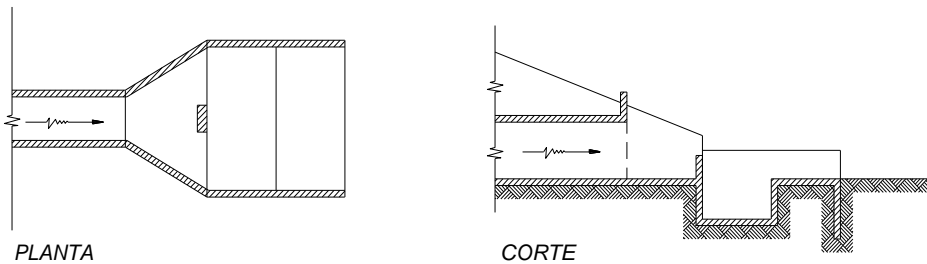


Figura 15.3 Terminal de alcantarilla con batea de gaviones

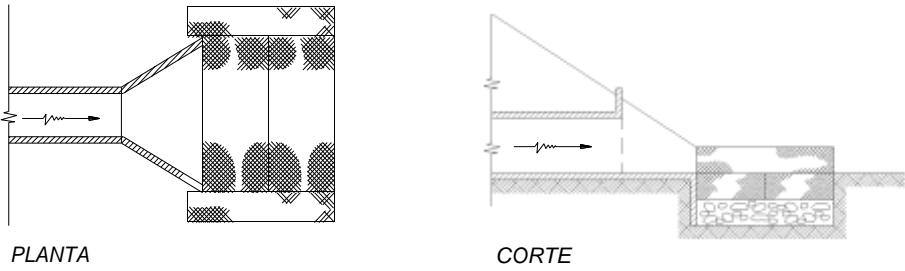


Figura 15.4 Terminal de alcantarilla con salto de gaviones

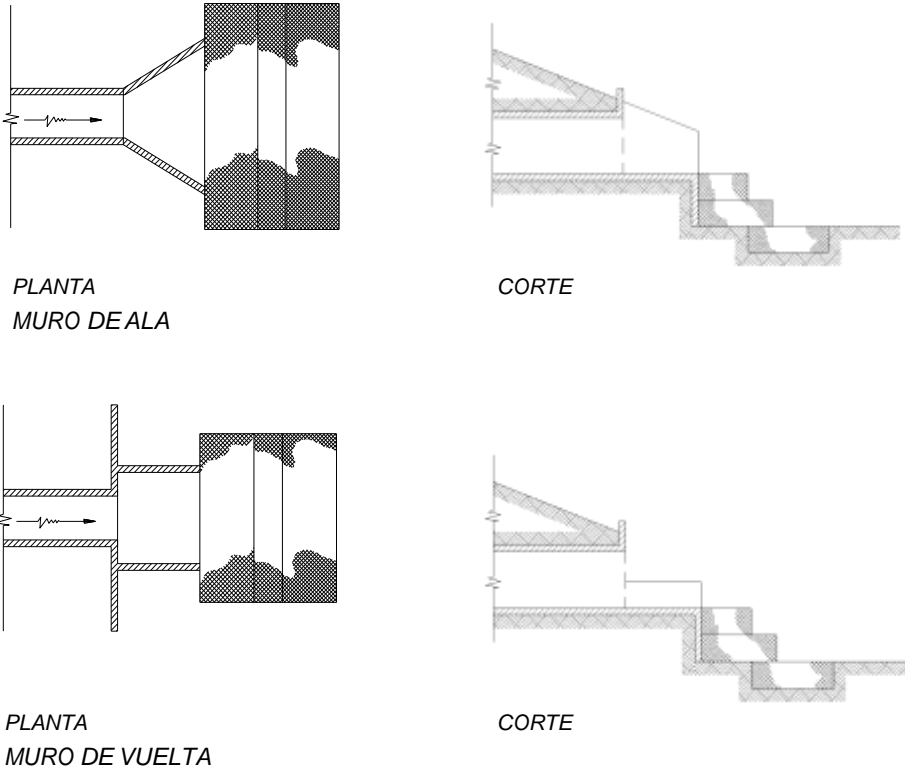
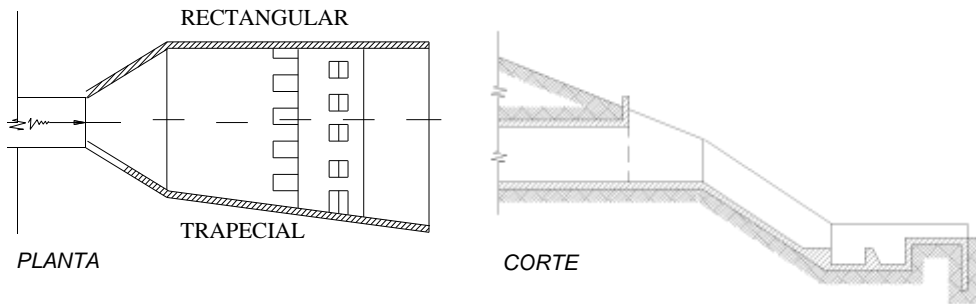


Figura 15.5 Terminal de alcantarilla con rápido de hormigón



2.16. ALCANTARILLAS DE HORMIGÓN

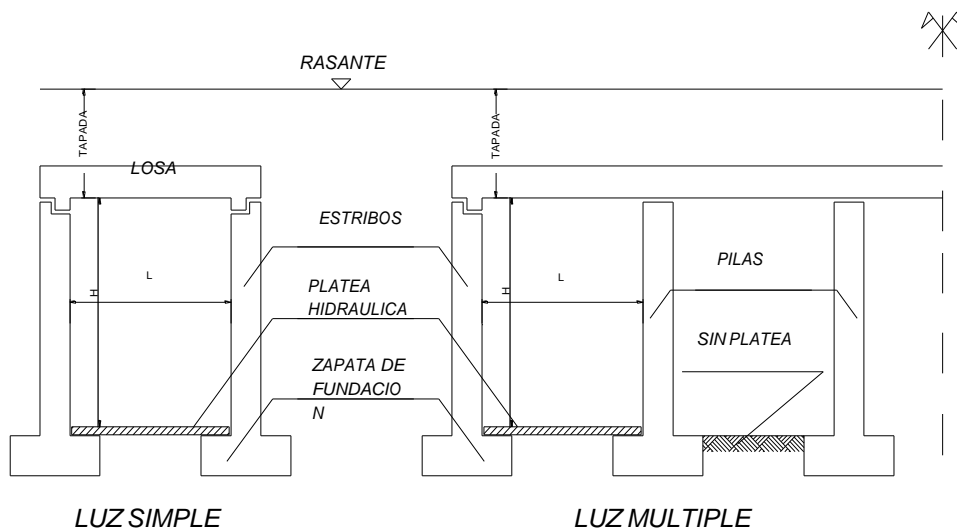
2.16.1. ALCANTARILLA DE SECCIÓN RECTANGULAR

2.16.1.1 TIPOLOGÍA

Se presentan dos tipos estructurales:

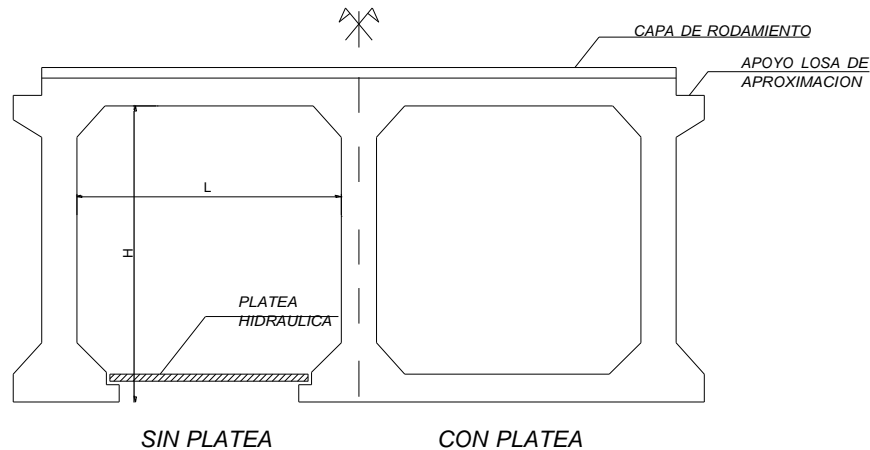
- a. Losa sobre estribos: en la figura 16 se presenta un esquema de su sección transversal.

Figura 16. Alcantarilla tipo losa sobre estribos



- b. Pórticos: pueden presentarse dos variantes con zapatas individuales, o con platea de fundación. En la figura 17 a izquierda del eje de simetría se presenta el primer caso y a derecha el segundo caso.

Figura 17. Alcantarilla tipo pórtico – Costos relativos de alcantarillas para luces simples y múltiples



2.16.1.2 ALCANTARILLA DE LOSA SOBRE ESTRIBOS

1. Generalidades

El rango más usual de aplicación de este tipo de estructuras es de luces entre 1.00 y 4.00 m, alturas entre 1.00 y 3.00 m, admitiendo vanos múltiples para luces superiores a 2.00 m.

2. Losas

Para luz única se calcula la losa como simplemente apoyada, para cada una de las dimensiones que admite el plano tipo.

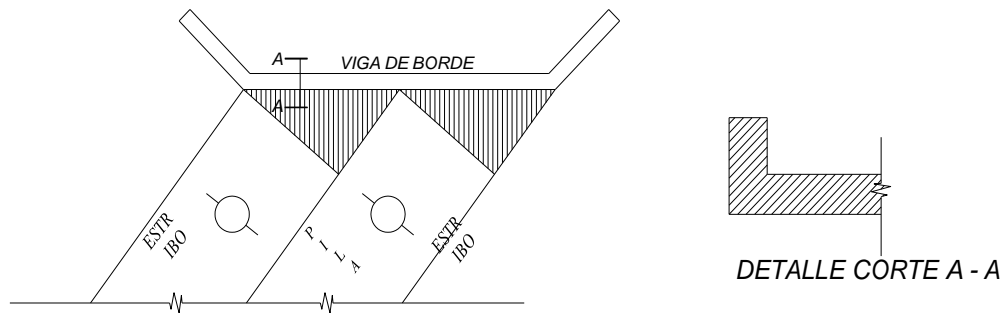
Para el cálculo de luces múltiples se debe considerar la carga viva en diferentes situaciones determinando la envolvente de las solicitaciones.

Para el dimensionamiento y a los efectos de simplificar la confección del plano tipo (menos variables), se puede adoptar el criterio de conservar para

estas luces el espesor y la armadura de la luz simple correspondiente, cubriendo los momentos en los apoyos con la armadura resultante de levantar la mitad de los hierros de los tramos contiguos.

Con relación al dimensionamiento de losas en alcantarillas oblicuas, resulta conveniente adoptar el modelo estructural esquematizado en la figura 18.

Figura 18. Losas en alcantarillas esviadas



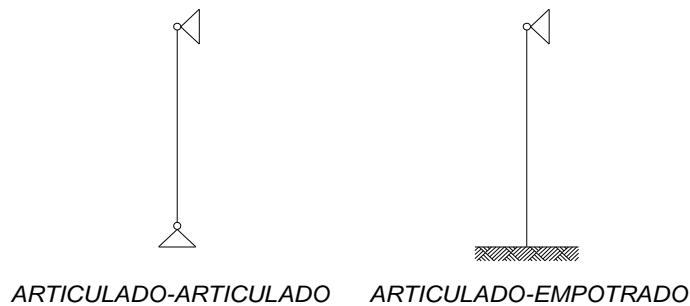
Se consideran losas derechas de luz L y la zona de longitud variable (área rayada) emplea como elemento portante la viga de borde.

3. Estribos y pilas

Como modelo estructural para el diseño de estribos se consideran las situaciones más críticas que conforman la envolvente de los casos empotrado- articulado, y articulado-articulado.

Se adopta este criterio ante la posibilidad que pueda producirse cualquiera de las dos situaciones durante su real comportamiento.

Figura 19. Modelos estructurales de estribos



Con relación a los estribos y pilas para este tipo de estructura es conveniente diseñarlo con hormigón sin armar hasta alturas de 1.50 m y con hormigón armado para alturas mayores.

4. Muros de cabeceras

Atendiendo el problema que presenta la geometría del muro de ala ante las pendientes longitudinales del conducto, se suele diseñar este tipo de cabecera en pendientes menores o igual a 10%. Para el caso de pendientes superiores se diseñan muros de vuelta.

2.16.1.3. ALCANTARILLAS PÓRTICO

1. Generalidades

El rango más usual de aplicación de este tipo de estructura es de luces entre 3.00 m y 6.00 m, alturas entre 4.00 y 9.00 m, admitiéndose varios múltiplos para luces iguales o mayores a 4.00 m.

En general este tipo de alcantarilla no se la diseña con tapada de terraplén, sino que la losa (con una capa de recubrimiento) se utiliza como superficie de rodamiento.

El modelo con platea admite menores tensiones del suelo de fundación (del orden del 40% del que requieren pórticos sobre zapatas), haciendo posible el uso de este tipo de obra sobre terrenos de baja calidad.

2. Modelo estructural

Consiste en pórticos articulados en los apoyos tanto para la fundación sobre zapatas como para fundación sobre platea. Mediante el empleo de este modelo los pórticos quedan a cubierto de posibles giros de las bases.

2.16.2. ALCANTARILLAS DE CAÑOS DE HORMIGÓN

2.16.2.1. UNIDAD PREFABRICADA

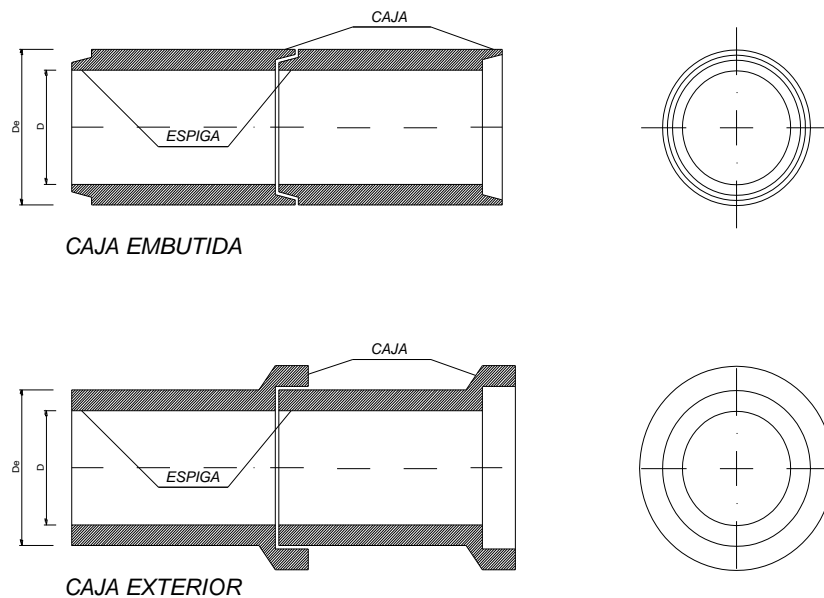
Se utilizan generalmente para cubrir bajos caudales de escurrimiento. Se trata de elementos prefabricados de muy sencilla construcción y colocación.

Los caños se construyen en hormigón armado, con longitudes entre 1.00 m y 1.20 m. se presentan dos tipos de terminales de caños

Terminal embutido

Terminal exterior

Figura 20. Tipos de caños de hormigón



En general, para diámetros mayores de 0.75 m se dimensionan con doble armadura en espiral en la siguiente figura se representa una unidad tipo de caño de hormigón armado.

1.1.3. 2.16.2.2. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS CONDUCTOS

1. Solicitaciones actuantes sobre los conductos.- están sometidos a dos estados de carga principales:

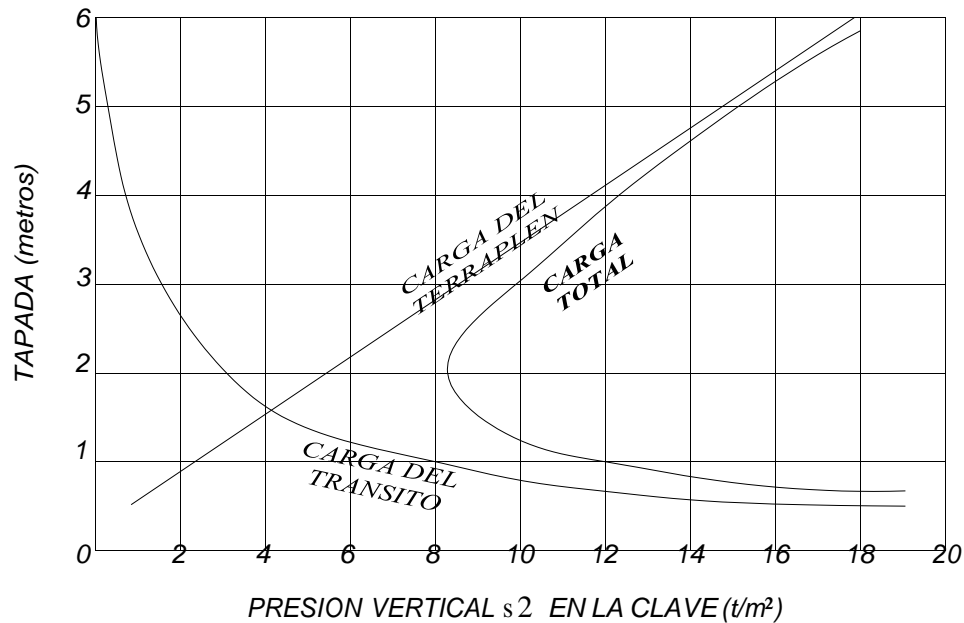
Solicitaciones debidas al tránsito: se diseñan los tubos previendo un espesor mínimo de terraplén por encima del conducto, de manera de permitir una adecuada distribución de las cargas.

Solicitaciones debidas al peso del terraplén: limitan la altura máxima del terraplén sobre el conducto.

A los efectos de lograr uniformidad en la distribución de cargas sobre el conducto, la tapada mínima no sea inferior al espesor de la caja de pavimento mas 0.20 m.

En la figura 21 se representa un diagrama de solicitaciones (presión vertical en la clave del tubo) para distintos valores de tapada, en un caño de 1.00 m de diámetro.

Figura 21. Diagrama de solicitaciones sobre un caño de hormigón



En la figura 21 pueden realizarse las siguientes observaciones:

Para tapadas entre 0.60 m y 6.00 m el estado de carga determinante corresponde a una tapada mínima de 0.60 m, sumando los efectos de la carga del terraplén y la del tránsito.

Tapadas inferiores a 0.60 m y superiores a 6.00 m originan diseños estructurales no económicos.

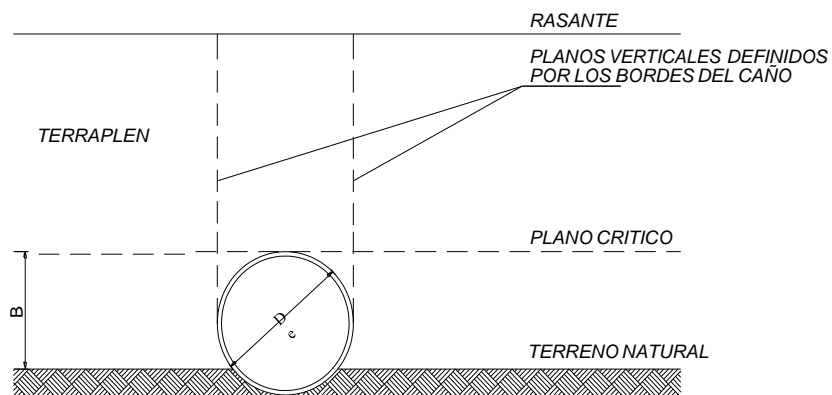
El estado de cargas más favorable corresponde a una tapada del orden de 1.80 m a 2.00 m.

2. Análisis del comportamiento estructural del conducto.- la magnitud de la carga estática que actúa sobre un conducto no es solo función del peso de material ubicado sobre el mismo sino también de ciertos esfuerzos cortantes que se generan en los planos verticales definidos por los bordes del caño.

Estos esfuerzos son causados por asentamientos diferenciales entre el prisma de suelo situado sobre el conducto y los prismas adyacentes, y de acuerdo al movimiento relativo entre estos prismas pueden resultar que la carga sobre el conducto sea mayor o menor que el peso del material ubicado sobre el.

Se denomina plano crítico al plano horizontal tangente al caño en su clave.

Figura 22. Plano critico



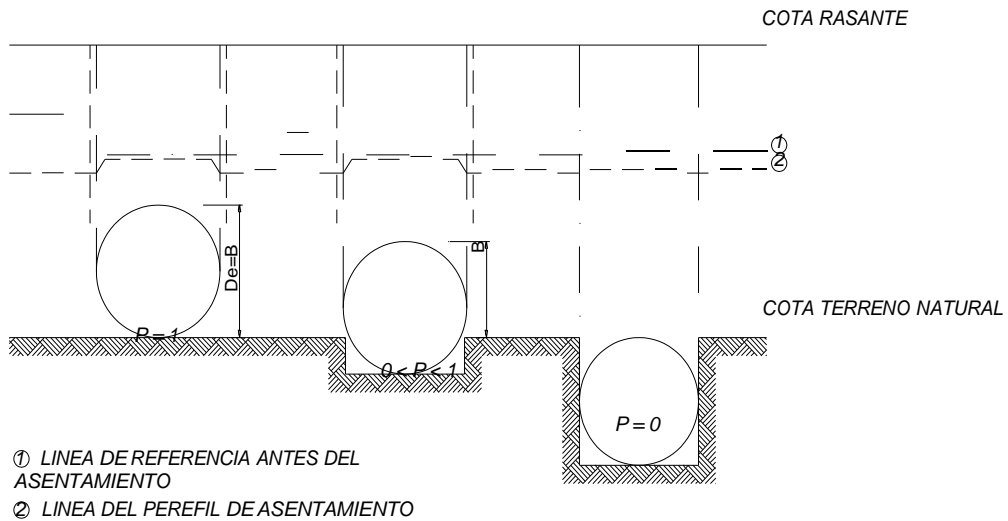
Se define como relación de proyección al cociente entre la altura del terraplén por debajo del plano crítico y el diámetro del conducto.

$P=B/D_e$ siendo: P relación de proyección

B diferencia de cotas entre la clave del conducto y el terreno natural (igual a la altura del terraplén por debajo del plano crítico)

D_e diámetro exterior del conducto

Figura 23. Asentamiento del terraplén sobre caños de hormigón



El diseño estructural del caño se realiza aplicando la teoría de Marston para el cálculo de las solicitaciones debidas al peso del terraplén sobre el mismo.

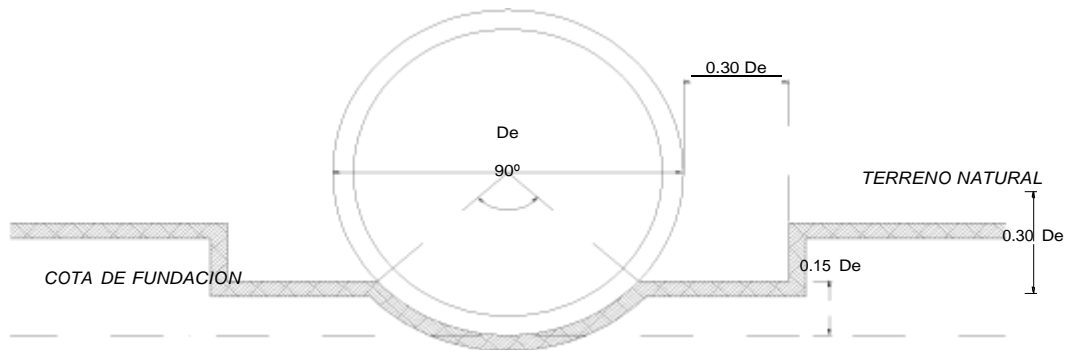
1.1.4. 2.16.2.3. COLOCACIÓN DE CAÑOS

Para lograr un adecuado comportamiento de las alcantarillas de caños debe procurarse una buena fundación y un conveniente relleno y compactación del terraplén en las adyacencias del conducto.

Se obtiene una correcta fundación de los caños cuando por lo menos el arco cubierto por un ángulo al centro de 90° apoya sobre una superficie perfectamente conformada.

Esto significa conformar un galibo con una profundidad mínima de 0.15 m debajo el terreno natural.

Figura 24. Fundación de caños de hormigón

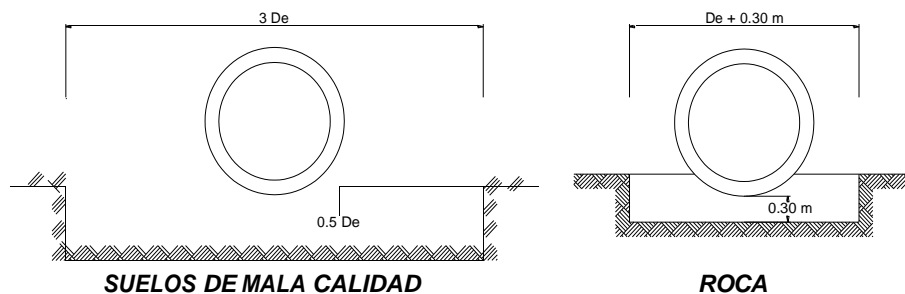


Además es deseable, a los efectos de disminuir tensiones en el tubo por parte de asentamientos diferenciales del terraplén en los planos de las proyecciones verticales del tubo, que se funde el caño por debajo del terreno natural no menos de $0.30 D_e$.

En caso que la fundación de los caños se realice sobre roca, debe excavarse la misma por lo menos 0.30 m bajo la cota de fundación y en un ancho igual a $D_e + 0.30 \text{ m}$, rellenándose esta caja con una cama de suelo perfectamente conformada y compactada.

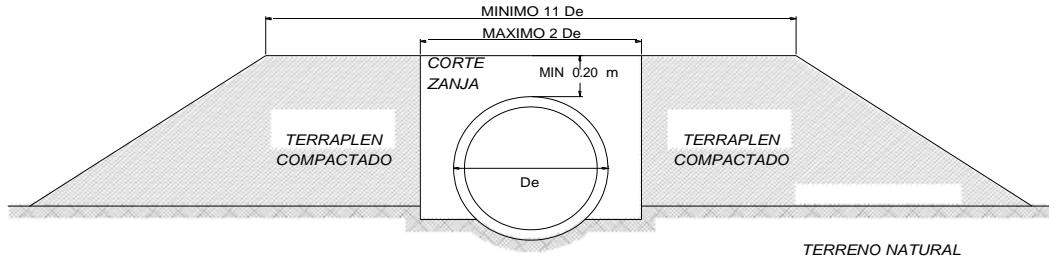
Los suelos de fundación de mala calidad (suelos de ciénagas, mallines, etc.) deben ser reemplazados por suelos aptos, excavando a tal efecto una caja mínima de $(3 \cdot D_e)$ de ancho, y $0.50 D_e$ de profundidad (mínimo 0.60 m), rellenándosela en capas compactadas de no más de 0.20 m de espesor.

Figura 25. Fundación de suelos no aptos



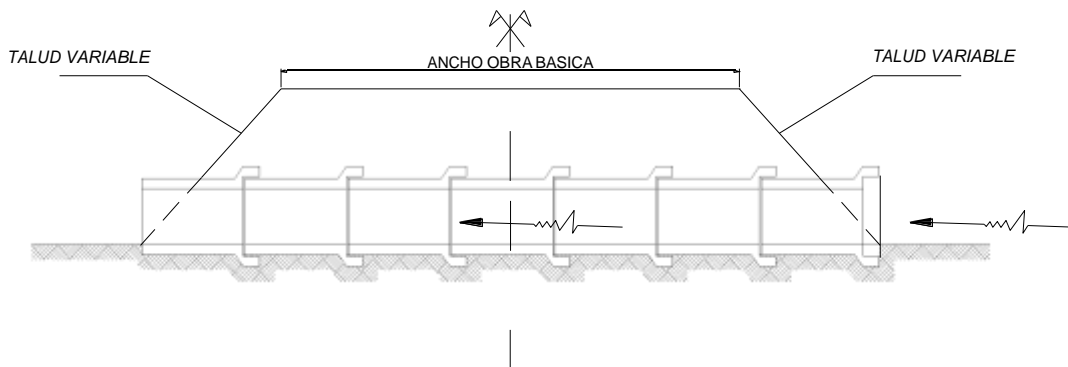
En lo que respecta al relleno y compactación del terraplén en las adyacencias del conducto puede decirse que una buena técnica constructiva, tendiente a reducir los asentamientos diferenciales del terraplén en coincidencia con los planos de las proyecciones verticales de los tubos, es construir el terraplén en coincidencia con los planos de las proyecciones verticales de los tubos, construyendo también el terraplén compactado donde ira ubicada la alcantarilla hasta 0.20 m por encima del caño, y cortar posteriormente en zanja dicho terraplén en toda la longitud del conducto y en un ancho no mayor de dos veces el diámetro exterior del tubo.

Figura 26. Colocación de caños en zanjas



El conducto deberá comenzar a construirse a partir del extremo aguas abajo, dirigiendo el terminal de caja hacia aguas arriba.

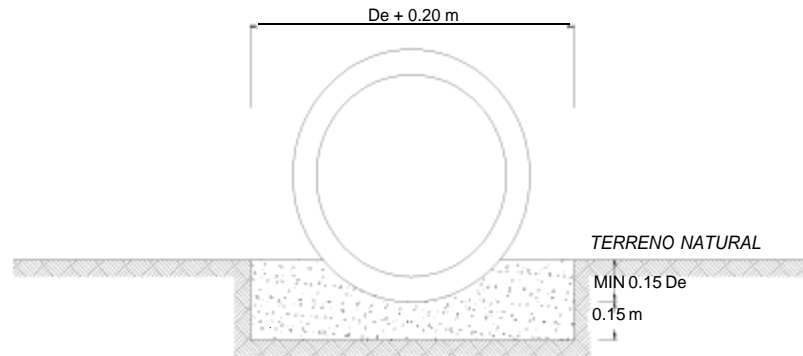
Figura 27. Colocación de caños.



Razones de eficiencia hidráulica determinan que la pendiente longitudinal de los tubos no sea inferior al 0.5%. Con pendientes longitudinales inferiores a 10% los caños pueden fundarse sobre una base de calidad adecuada.

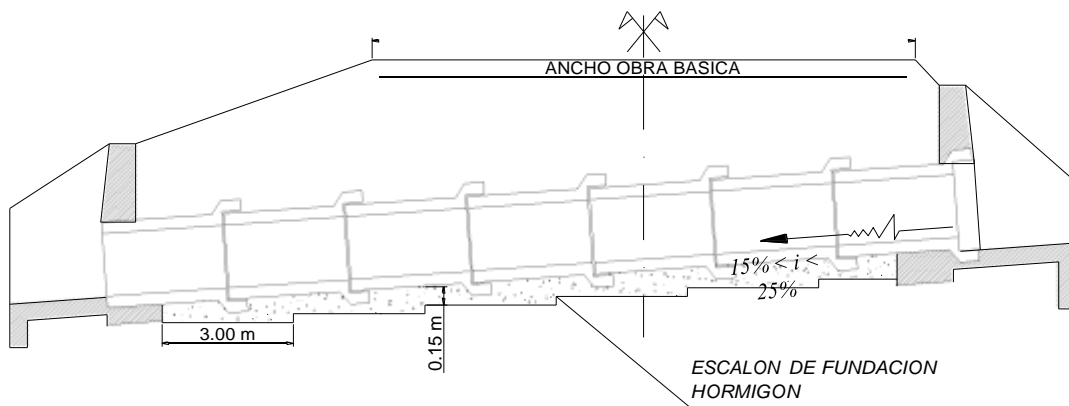
No obstante, y ante las dificultades de orden constructivo que ofrece la colocación de los caños, es aconsejable prever la base de asiento de hormigón en todos los casos.

Figura 28. Base de asiento de hormigón.



Para pendientes superiores deberán agregarse escalones a la base de asiento de hormigón. En este caso la cantidad de escalones deberá ser un número entero, y la longitud de cada uno de ellos aproximadamente tres metros.

Figura 29. Colocación de caños con fuertes pendientes.



1.1.5. 2.16.2.4. MUROS DE CABECERA

Éste tipo de conducto puede no llevar muros de cabecera, prolongándose los extremos a fin de cubrir el talud de los terraplenes esta situación no es aconsejable ya que

ofrece una conformación inadecuada para el control de los procesos erosivos en los casos de caudales y velocidades apreciables.

Si bien los muros de cabecera no mejoran apreciablemente la eficiencia hidráulica de una alcantarilla de caños, aportan mejores condiciones para el control de erosión en los extremos, proveen un mejor anclaje de la alcantarilla en laderas.

1.1.6. 2.17. HIDROLOGÍA PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS

1.1.7. 2.17.1. RECURRENCIA PARA DISEÑO DE ALCANTARILLAS

La selección de un evento hidrológico de máxima para el diseño de alcantarillas es un problema complejo que abarca la consideración de numerosos parámetros.

El esquema básico es el análisis de eventos que provocan inundaciones significativas, seleccionando una serie progresiva de valores de máxima en correspondencia con determinadas frecuencias.

Perdida de vida: las pérdidas de vida asociadas con un evento hidrológico que afecte una obra vial puede ocurrir cuando un vehículo y sus ocupantes son arrastrados por las aguas que destruyen un camino o pasan sobre un badén, caen a un curso de agua debido a rotura de la estructura, o por inundaciones aguas debajo de un camino provocadas por la destrucción de obras de arte y/o terraplenes.

Interrupción al tránsito: ocurre cuando una sección de camino, o una determinada estructura es inundada o colapsada, o cuando razones de seguridad en cuanto a la circulación obligan a una clausura temporal de la vía.

Daño a las propiedades: comprende los perjuicios accionados en cuanto al uso del suelo debido a las áreas anegadas o a los procesos erosivos por causa de una obra vial que modifique un determinado equilibrio hidrológico. Pueden presentarse además daños a mejoras provocadas por bruscas avenidas de agua debido a la rotura de terraplenes o estructura.

Daño a obras del camino: incluye el desmoronamiento de taludes y contra taludes, destrucción de terraplenes, colapso de estructuras, etc.

Costo de mantenimiento: comprende los gastos originados en controlar procesos erosivos y reparar roturas parciales de estructura. Estos daños pueden ser originados por eventos hidrológicos de menor magnitud pero de mayor frecuencia que los adoptados para diseño.

El investigador polaco Ing. W. Jarocki presenta la tabla donde consigna tiempos de recurrencia para diseño en función de la categoría de la vía y el tipo de estructura.

Tabla 4. Tiempo de recurrencia para diseño de obras viales según W. Jarocki.

CATEGORÍA DE LA VÍA	TIEMPO DE RECURRENCIA (años)		
	TERRAPLENES	PUENTES	ALCANTARILLAS
Autopistas urbanas y rurales	100	100	50
Rutas principales	50	50	25
Caminos vecinales	25	25	10
Caminos provisorios	10	10	5

A.A.S.H.T.H.O., en la Guía para Drenaje de Caminos 1979, consigna una carta para la selección del tiempo de recurrencia para diseño de alcantarillas.

Tabla 5. Carta para la selección del tiempo de recurrencia para diseño según AASHTO 1979

PARAMETRO	CALIFICACION		
	1	2	3
Daño a las propiedades	bajo	medio	alto
Daño al camino	bajo	medio	alto
Pérdidas potenciales de vida	bajo	medio	alto
Altura de terraplén	< 6 m	6 m a 15 m	> 15 m
Costo de reconstrucción	bajo	medio	alto
TP.D.A.	< 100	100 a 750	> 750
Rutas alternativas	si	mala calidad	no
Sección de camino inundado	si	eventual	no
Caudales registrados mayores que el caudal para recurrencia de 50 años	ninguno	uno	varios
Valor estratégico	No	no	Si
Efecto sobre la economía local	bajo	medio	alto

Tabla 6. Tiempo de recurrencia de diseño según A.A.S.H.T.O. 1979

PROMEDIO PONDERADO DE LA CALIFICACIÓN (1)	RANGO DEL TIEMPO DE RECURRENCIA PARA DISEÑO (años)
1	10-25
2	25-50
3	Más de 50

(l) la incidencia de cada parámetro en la calificación final no tiene el mismo peso y varía de acuerdo a las condiciones emergentes.

2.18. HIDRÁULICA DE ALCANTARILLAS

2.18.1. INTRODUCCIÓN

Hidráulicamente una alcantarilla es una constricción de longitud relativamente corta que se presenta en un escurrimiento superficial de aguas.

Para el proyecto de secciones de hidráulicas de alcantarillas se considera el caudal de diseño (máximo caudal de derrame para un tiempo de recurrencia dado) en condiciones de flujo permanente.

El funcionamiento hidráulico de las alcantarillas es sumamente variable y depende de numerosos parámetros: conformación de la entrada, pendiente, rugosidad, etc.

El diseño de la sección hidráulica de alcantarillas se basa en la previsión de un represamiento, aguas arriba del conducto, de manera de obtener una altura de carga H_r que otorgue eficiencia al escurrimiento con un menor costo de estructura.

Este represamiento está condicionado por una serie de parámetros: altura de terraplén, anegamiento de áreas aguas arriba del conducto, tipo de alcantarilla, velocidad admisible del escurrimiento, etc.

De acuerdo con las condiciones hidráulicas emergentes aguas debajo de la alcantarilla pueden distinguirse dos comportamientos hidráulicos:

Salida libre

Salida sumergida.

Dentro del conducto el escurrimiento puede ser con o sin carga hidráulica: el flujo subcrítico, crítico o supercrítico; el régimen uniforme o variado, de acuerdo a las reales condiciones emergentes. En la siguiente tabla se esquematizan los posibles escurrimientos que se dan usualmente en las alcantarillas.

TABLA N° 7. Posibles Escurrimientos en alcantarillas

SALIDA		CONDUCTO	CARGA HIDRAULICA	FLUJO	REGIMEN	LONGITUD HIDRAULICA CONDUCTO	FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO		
Libre $H_s < H_c$		Ideal $n=0$ $i=0$	Sin carga $H_r < H$ Con carga $H_r > H$	Critico	Uniforme	Corta	Vertedero Compuerta Orificio		
				Real $n > 0$	Sin carga $H_r < H$ Con carga $H_r > H$	Subcritico $i < i_c$	Variado	Larga	Canal Tubería
						Critico $i = i_c$	Uniforme	Corta	
		Supercritico $i > i_c$	Variado Variado-uniforme			Corta			
		Sumergida $H_s > H_c$	Real $n > 0$	Con carga $H_r > H$		Uniforme	Larga	Tubería	
					Con carga $H_r > H$		Variado	Larga	Tubería Canal
Sin carga $H_r < H$					Variado	Larga	Canal		

2.18.2. ESCURRIMIENTO CON SALIDA LIBRE

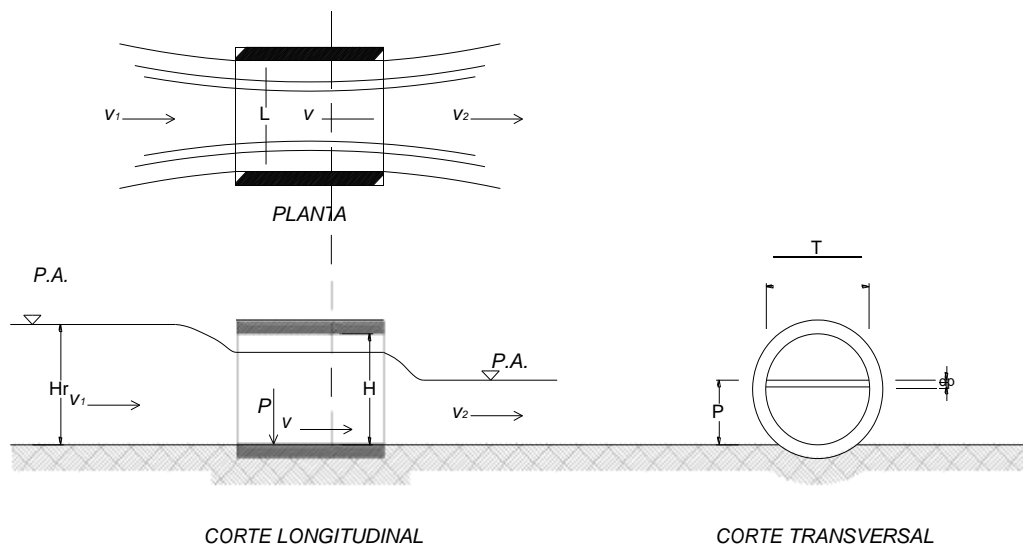
2.18.2.1. CONDUCTO IDEAL

1. E scorrimiento sin presión

1.1. Análisis genérico

Sea un conducto ideal con rugosidad ($n=0$) y pendiente longitudinal cero ($i_r=0$) (el interior del conducto no tiene incidencia en la regulación del caudal), de sección transversal cualquiera, con aguas represadas a la entrada con altura máxima igual a la altura de la alcantarilla, y con salida libre. Estas condiciones de escurrimiento corresponden al funcionamiento hidráulico de una constricción (vertedero de pared gruesa)

Figura 30. Conducto ideal escurrimiento con salida libre sin presión



A descarga del conducto queda expresada, de acuerdo a la ley de Bernoulli, de la siguiente forma:

$$E = H_r + \frac{v_1^2}{2g} = P + \frac{v^2}{2g} + hp$$

Siendo:

- E altura total de la energía específica, en m.
- Hr altura del remanso para escurrimiento sin presión, (Hr máx.= H), en m.
- H altura de la alcantarilla, en m.
- v₁ velocidad de escurrimiento antes del estrechamiento, en m/s
- g aceleración de la gravedad, en m/s².
- P altura del agua en el conducto, en m.
- V velocidad de escurrimiento en el conducto, en m/s.
- hp pérdida de carga debido a la embocadura, en m.

La velocidad v₁ es notablemente inferior a v y prácticamente puede ser despreciada, obteniendo de esta manera valores de cálculo ligeramente inferiores a los reales de escurrimiento. Generalmente v₁ es inferior a 1 m/s siendo en consecuencia $v_1^2/2g = 0.05$ m en base a lo expuesto la expresión 6.1 queda reducida:

$$E = H_r = P + \frac{v^2}{2g} + h_p$$

La velocidad v del escurrimiento será:

$$V = Q / A$$

Siendo Q el caudal de descarga, en m³/s y A la sección de escurrimiento, en m².

Reemplazando en 6.2 se obtiene:

$$E = H_r = P + \frac{Q^2}{2gA^2} + h_p$$

Diferenciando con respecto a P, para un determinado caudal será:

$$E = H_r + \frac{v_1^2}{2g} = P + \frac{v^2}{2g} + h_p$$

La diferencia del área mojada cerca de la superficie es $dA = T dP$ (T =ancho espejo de agua), y siendo d la profundidad hidráulica ($d= A/T$), puede expresarse:

$$dE/dP=1-v^2T/gA=1-v^2/gd$$

En el estado crítico del flujo la energía específica es mínima, y por ende su derivada es cero. En estas condiciones, operando la 6.2 puede obtenerse:

$$vc^2/2g = d / 2$$

Esta expresión permite establecer que en un escurrimiento con flujo crítico la altura de velocidad es igual a la mitad de la profundidad hidráulica. Esto es coincidente con la definición clásica del flujo crítico en la cual el Número de Froude es unitario.

$$F= 1 = dv/(gd)^{1/2}$$

Para estas características del flujo se dice que la velocidad del escurrimiento es crítica (vc) y que la profundidad P del agua corresponde al tirante crítico; $P=H_c$

Para la condición mínima, de la ecuación 6.6 puede deducirse:

$$Q^2/g= A^3/T$$

Ecuación que permite calcular el tirante crítico H_c y la velocidad crítica vc para un caudal dado y una determinada sección.

La relación entre la altura de remanso a la entrada del conducto y el caudal de escurrimiento puede ser obtenida de acuerdo al siguiente desarrollo.

La pérdida de carga h_p de la ecuación 6.2 debido a la entrada del conducto puede expresarse como una fracción de energía cinética:

$$h_p= K v^2/2g$$

Reemplazando en 6.2 y llamando $(1+k)=1/k''$ siendo k coeficiente de pérdida por embocadura, se obtiene:

$$H_r = H_c + v^2 / 2gK^2 = H_c + Q^2 / A^2 2gK^2$$

Operando:

$$Q = AK(2g(H_r - H_c))^{1/2}$$

Esta expresión corresponde al máximo caudal de descarga en un conducto para $H_r = H$ con salida libre, de rugosidad nula y pendiente longitudinal cero.

1.2. Coeficiente K de pérdida por embocadura

Los valores del coeficiente K para distintos tipos de embocadura se determinan mediante ensayos, que pueden hacerse en laboratorio sobre modelos, o en campo sobre prototipos.

En base al análisis de los valores propuestos por estos investigadores, se adoptan como valores de diseño del coeficiente K los consignados en las siguientes tablas para distintos tipos de embocadura.

Tabla 8. Valores del coeficiente k para diseño sección rectangular de hormigón.

TIPO DE EMBOCADURA	α (1)	k	K	EFICIENCIA HIDRAULICA
Muros de vuelta	90°	0.40	0.85	0.94
Muros de ala	30° - 75°	0.23	0.90	1.00
Extremos prolongados	0°	0.42	0.84	0.93
Entrada conformada tres aristas (2)	30° - 75°	0.09	0.96	1.07

(1) Angulo que forma cada muro con respecto al eje longitudinal de la alcantarilla.

(2) Únicamente cuando trabaje con carga hidráulica.

Para secciones no rectangulares el coeficiente K de perdida por embocadura depende de la forma de la sección de escurrimiento.

Se adoptan como valores de diseño del coeficiente K para caños de hormigón los consignados en la siguiente tabla.

Tabla 9. Valores del coeficiente K para diseño para $H_r/H=1$ para caños de hormigón de sección circular

TIPO DE EMBOCADURA	α (1)	k	K	EFICIENCIA HIDRÁULICA
Muros de vuelta	90°	0.42	0.84	0.97
Muros de ala	30° - 75°	0.32	0.87	1.00
Extremos prolongados	0°	0.56	0.80	0.92
Entrada abocinada	---	0.09	0.96	1.10

(1) Únicamente cuando trabaja con carga hidráulica.

Para los caños de chapa ondulada cincada de secciones circulares, abovedadas y ovaladas, pueden adoptarse como valores de diseño del coeficiente K los consignados en la siguiente tabla.

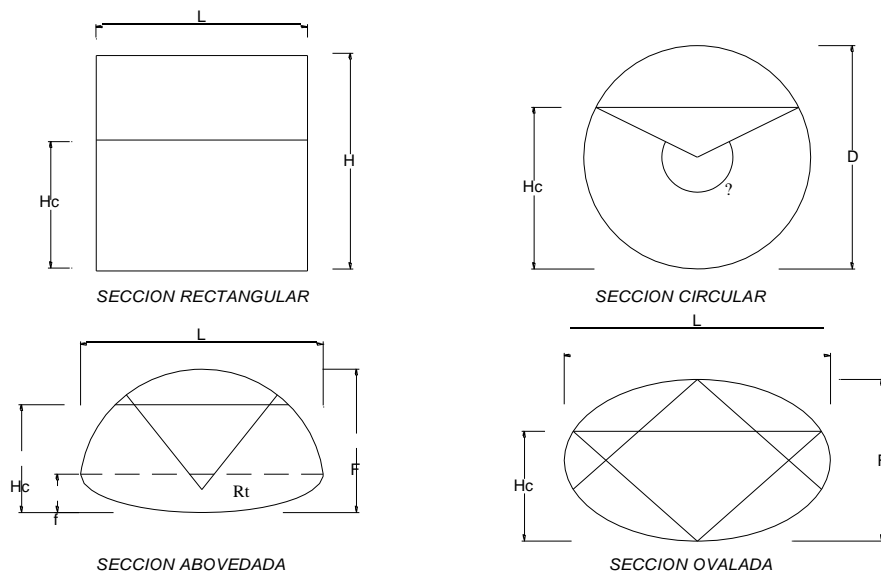
Tabla 10. Valores del coeficiente K para diseño para $H_r/h=1$ para secciones circulares, abovedadas y ovaladas de caños de chapa ondulada cincada

TIPO DE EMBOCADURA		α	k	K	EFICIENCIA HIDRÁULICA
Muros de vuelta		90°	0.56	0.80	0.97
Muros de ala		30° - 75°	0.49	0.82	1.00
Extremos prolongados	Normales	0°	0.78	0.75	0.92
	Biselados	0°	0.70	0.77	0.94

1.3. Expresiones analíticas

Operando las ecuaciones genéricas 6.9 y 6.12 para cada tipo de conducto puede obtenerse las expresiones que permiten resolver el diseño hidráulico de las alcantarillas.

Figura 31. Secciones típicas de escurrimiento.



Conductos de sección rectangular:

$$Q=K.L.H_c.\sqrt{2g(Hr - H_c)}$$

$$H_c=0.467\left[\frac{Q}{L}\right]^{3/2}$$

Operando

$$Q=L.\left[\frac{K^2.Hr}{(0.2336+0.467K^2)}\right]^{3/2}$$

Conductos de sección circular:

$$Q=K.A.\sqrt{2g(Hr - H_c)}$$

$$A=\frac{D^2}{4}\left[\pi - \frac{2H_c-D}{D}\right] + \frac{1}{2}*(2H_c-D)*\sqrt{DH_c - H_c^2}$$

Operando

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{2(DHc - Hc^2)}$$

A los efectos de simplificar el cálculo para el diseño de secciones puede emplearse con suficiente aproximación la siguiente expresión:

$$Q = 1.438 * K * \gamma * D^{5/2}$$

Siendo γ un coeficiente de forma, válido para el rango $0.50 \leq Hr / D \leq 1.00$ y que responde a la siguiente ecuación:

$$\gamma = \left(\frac{Hr}{D}\right)^{(1.477 - 0.625 \log \frac{Hr}{D})}$$

Este coeficiente también considera la variación K.

Conductos circulares de sección abovedada:

Al igual que en el caso de conductos de sección circular, puede utilizarse con suficiente aproximación la siguiente expresión:

$$Q = 1,482 * \gamma * K * L * F^{3/2}$$

Siendo γ un coeficiente de forma, válido para el entorno $0.50 \leq Hr / F \leq 1.00$ y que responde a la siguiente ecuación:

$$Q = 1,482 * \gamma * K * L * F^{3/2}$$

Este coeficiente también considera la variación K.

Conductos de sección ovalada (valido para $L \geq 6.00$ m)

Puede emplearse la siguiente expresión aproximada:

$$Q = 1.438 * \gamma * K * L * F^{3/2}$$

Siendo γ un coeficiente de forma, válido para el entorno

$0.50 \leq Hr / F \leq 1.00$ y que responde a la siguiente ecuación:

$$\gamma = \left(\frac{Hr}{F}\right)^{(1.414 - 0.228 \log \frac{Hr}{F})}$$

Este coeficiente también considera la variación K.

2. Escurrimiento con presión

2.1. Análisis genérico

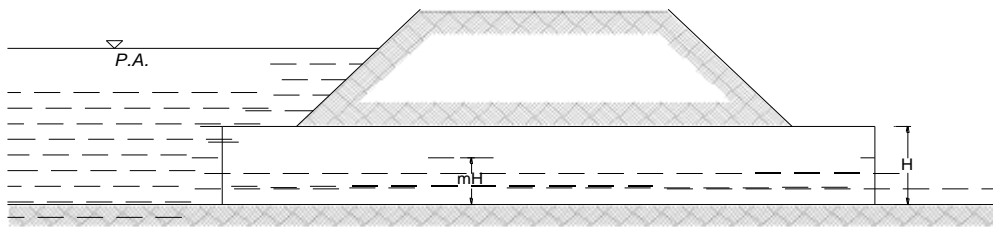
Los muros de cabecera de las alcantarillas no suelen estar diseñadas para que las mismas funcionen con alturas de remanso mayores que la altura del conducto, en especial los muros de ala en los cuales, usualmente el terminal del ala tiene una altura de orden de la mitad de la del conducto.

Estas razones justifican la conveniencia de no diseñar conductos que funcionen con presión.

Cabe consignar que para que efectivamente la sección a la entrada del conducto funcione totalmente llena, la altura de remanso debe sobrepasar netamente la altura de la alcantarilla.

Si razones de cualquier índole hacen necesario diseñar alcantarillas que trabajen con $H_r > H$ ($H_r < 1.5H$), y en lo posible no superar $1.2H$.

Figura 32. Escurrimiento con presión.



Para estas condiciones la expresión del caudal puede ser resuelta con suficiente aproximación de la siguiente manera.

Si se denomina relación de llenado m al cociente entre la altura de llenado y la altura de la alcantarilla, el caudal de descarga estará expresado por:

$$Q = v * A$$

A función de m

La velocidad de escurrimiento estará determinada por la altura de carga

$$Hr.m.H = \frac{v^2}{2g + K^2}$$

Operando

$$Q = K.A.\sqrt{2g(Hr - Hc)}$$

2.2. Expresiones analíticas

Sección rectangular

$$Q = K.m.H.L.\sqrt{2g(Hr - mH)}$$

$$m = 0.591 \left(\frac{Hr}{H}\right)^{(0.444 - 1.84 \log \frac{Hr}{H})}$$

Sección circular

$$Q = K.A.\sqrt{2g(Hr - mD)}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} * \left[1 - \frac{1}{180} \arccos(2m - 1)\right]_+ D^2 * (m - 0.25) * \sqrt{m(1 - m)}$$

Para caños de H°

$$m = 0.697 \left(\frac{Hr}{D}\right)^{0.038}$$

Para caños de chapa ondulada cincada

$$m = 0.698 \left(\frac{Hr}{D}\right)^{-0.032}$$

Sección abovedada

$$Q = K.A.\sqrt{2g(Hr - m.F)}$$