

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

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 e un número mayor de años de su vida útil, de tal manera que sean serviciales, funcionales, estructurales y estéticas.

La Evaluación del proyecto, tiene por objeto de determinar su grado de utilidad e impacto en la población de influencia y el medio ambiente, considerando parámetros económicos, sociales y ecológicos que definen 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 está funcionando mal por la 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 afectando a una o varias partes de los componentes de una alcantarilla. Esta reconstrucción va acompañada de un análisis de costos.

Este proyecto de conservación de alcantarillas se aplicará a un tramo de carretera “Puente Unión Europea – Carachimayo”, que de alguna manera el estado actual de las alcantarillas ocasiona problemas en su funcionamiento y por ende se traduce en un deterioro en la carretera.

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 deterioro de la carretera del tramo “Puente Unión Europea – Carachimayo”.

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 institución 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, que esté al alcance de nuestra tecnología y posibilidad.

La durabilidad de una carretera no sólo 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.

Debe ser uno de los objetivos de dotar a este tramo la seguridad de una adecuada transitabilidad durante toda la época año, significando de antemano su progreso. Pero es innegable la existencia de numerosas fallas en el funcionamiento del tramo “San Lorenzo – Canasmoro”, produciendo accidentes. Por esta razón es necesaria la consideración de una adecuada conservación de alcantarillas.

Tal situación nos lleva a desarrollar una investigación que cubra el total de los aspectos técnicos que conciernen el estudio de conservación de alcantarillas y obras de arte en carreteras.

En el tramo carretero “Puente Unión Europea – Carachimayo” existe diversas fallas que no solo se traducen en un deterioro de 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 en este tramo”.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Este trabajo tiene como objetivo general: El de estudiar las condiciones de conservación del sistema de drenaje de una carretera, con la finalidad de establecer parámetros de mejoramiento funcional para el tramo carretero “Puente Unión Europea – Carachimayo”.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

También esta investigación persigue los siguientes objetivos específicos:

- Verificar la incidencia de las características topográficas, geomorfológicas, hidrológicas, etc. En el funcionamiento de las alcantarillas, sobre la base de diferentes sondeos de la carretera.
- Se analizará, profundizará y adecuará el estudio de las alcantarillas a las características de nuestra región.
- Analizar la incidencia de los factores del impacto ambiental más importantes que influyan en el desequilibrio del medio debido a las alcantarillas.
- Realizar un inventario de las alcantarillas para el tramo en estudio, estableciendo una metodología para ello.
- Se planteará 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 tomando en cuenta el área

de aporte y la hidrología de la zona en estudio. En caso de obtenerse resultados no positivos se plantea como solución volver a diseñar adecuadamente.

- Se planteará 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 el tramo en estudio.
- Realizar un cálculo del presupuesto de las medidas correctivas que es necesario efectuarse para la conservación de las alcantarillas del tramo en estudio.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El trabajo estará enmarcado dentro del siguiente alcance:

- 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 nuestra región, comparando los cálculos de proyectos ya realizados con el comportamiento real del flujo que está presentando.
- Estudiar las propiedades y características hidráulicas de las alcantarillas que se adoptó en la construcción del tramo en estudio, pasando luego a estudiar las características locales en sitio de cada alcantarilla, para adecuar criterios de diseño a los proyectistas y 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, etc. Para profundizar el cálculo del comportamiento de la escorrentía superficial de la cuenca de aporte hacia las alcantarillas. Este estudio se realizará en base a metodología propuestas para

cuencas pequeñas, además relacionarlos resultados teóricos con los que se medirá en campo mediante las marcas que dejó el flujo.

- Se realizará la evaluación técnica, hidráulica y ambiental de las alcantarillas del tramo en estudio, para poder plantear la solución a los problemas que se está arrastrando en la actualidad, pasando por un análisis de beneficio – costo de diferentes soluciones para cada caso.
- Realizar un planteamiento para una metodología de conservación en las alcantarillas de tramo 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

CONCEPTOS GENERALES SOBRE ALCANTARILLAS

2.1 INTRODUCCIÓN

Son estructuras, que permiten el paso de las aguas superficiales por debajo de las obras de un camino, siendo deseable que cumplan con las siguientes condiciones.

- Ser elementos estructurales, contruidos en base a diseño tipo que prevean dimensiones variables dentro de determinados rangos, en cuanto a sección, largo, profundidad de fundación, pendiente, esviaje, etc.
- Luz simple menor de seis (6) metros, o luces múltiples contiguas de total inferior a doce (12) metros.
- Largo de la estructura que permita el desarrollo total del coronamiento de la obra básica.
- Recubrimiento de terraplén sobre los conductos, no siendo utilizada, por lo tanto, su parte superior como superficie de rodamiento.

El primer punto responde al principal elemento que caracteriza una alcantarilla, siendo los otros párrafos limitaciones de carácter genérico que varían de acuerdo a distintos criterios.

Con respecto al primer punto, define una alcantarilla de acuerdo a su razón de ser: es producto de la necesidad de contar con proyectos de pequeñas estructuras de concepción simple, numerosas en una obra caminera, que puedan ser cubiertas con planos tipo diseñados para ser utilizados en una región de condiciones similares en cuanto a la naturaleza del terreno y a las fuentes de origen de los materiales empleados en la construcción de las mismas.

En relación a los valores de luz máxima, autores europeos la limitan a tres (3) metros mientras que los americanos a seis (6) metros. En general, no especifican el número de luces parciales. Lógicamente este valor límite queda determinado por la comparación económica (costo y tiempo) entre el valor de realización del proyecto y la economía en la construcción de la obra en relación al empleo de un plano tipo.

La adopción de estructuras largas que cubran el total del coronamiento de la obra básica, responde a que por tratarse de unidades de frecuencia apreciable en el desarrollo del camino, no deben provocar disminuciones en la capacidad de la calzada ni afectar las condiciones de seguridad y confort en la circulación de los vehículos. En cuanto a la incidencia económica de las alcantarillas en el monto de una obra caminera pavimentada, puede considerarse del orden del 8% al 15% del costo total de las obras.

2.2 TIPOLOGÍA

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 el caño circular de permitir mayor escurrimiento de agua con menor altura de alcantarilla.

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

Los tipos más comúnmente utilizados corresponden a los indicados en la siguiente figura:

Figura 2.1. Tipos usuales de Alcantarillas.

| DESIGNACIÓN | SECCIÓN | MATERIALES |
|----------------|---|---------------------------------|
| Rectangular |  | Hormigón, mampostería y madera. |
| Caño circular |  | Hormigón y chapa ondulada. |
| Caño abovedado |  | Chapa ondulada. |
| Caño ovalado |  | Chapa ondulada. |
| Bóveda |  | Hormigón, mampostería y chapa. |

2.2.2 ANÁLISIS CONCEPTUAL DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Las alcantarillas están sometidas a los estados de cargas principales:

- Solicitaciones debidas a las cargas de tránsito: su valor se hace máximo cuando no existe recubrimiento de terraplén sobre el conducto (tapada).a nivel de la capa de rodadura.
- Solicitaciones debidas al paso del terraplén: se incrementan en la medida que aumenta la recubrimiento.
- En secciones circulares o abovedadas deben adoptarse espesores apreciables de recubrimiento mínimo (del orden de 0,50m a 0,60m) para obtener estructuras razonablemente económicas.
- Se presenta un rango de recubrimientos (en el orden de 1,00m a 2,00m) en que las solicitaciones asumen su más bajo valor.

2.3 MEDIDAS MÍNIMAS

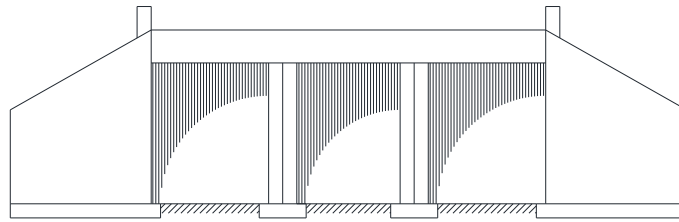
No se recomiendan dimensiones en la sección transversal inferiores a 1,00m, ya que deben permitir el pasaje de operarios para efectuar reparaciones, limpieza y mantenimiento.

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

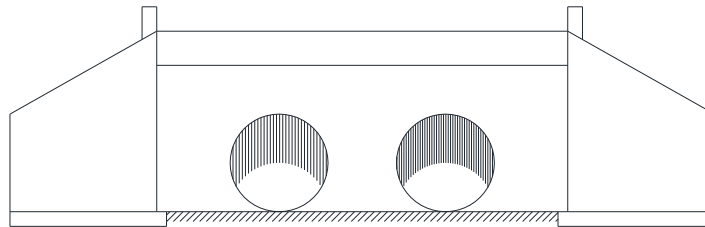
2.4 LUCES MÚLTIPLES

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. (Batería de caños)

Figura 2.2. Luces múltiples, baterías.



Sección rectangular



Batería de caños

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

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

Estas consideraciones aconsejan no diseñar alcantarillas de luces múltiples cuando se vería 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.).

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 las terminales de los conductos).

2.6 MUROS DE CABECERAS

2.6.1 GENERALIDADES

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

- Incrementan la 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 cumple en un alcantarilla el muro de entrada y el de salida es distinta. A la salida del conducto el agua requiere de mayor velocidad, alcanzando su valor máximo a una distancia aproximadamente igual a dos veces el ancho del conducto (luz L). Este valor supera la velocidad en el interior del conducto, según el investigador Walenti Jarocky, en los siguientes porcentajes:

Salida libre:

Alas entre 00° y 20° : 30%

Alas entre 30° y 45° : 20%

Salida sumergida:

Alas entre 00° y 20° : 20%

Alas entre 30° y 45° : 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 mismos provoca daños en los taludes de los terraplenes en adyacencias de los muros.

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 2.3. Muro de alas sin aletas.

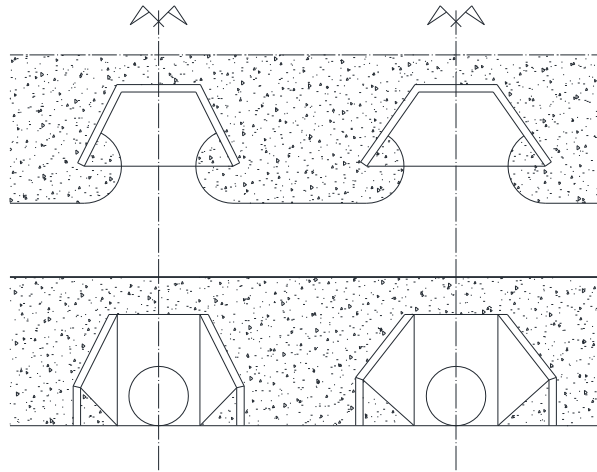


Figura 2.4. Muro de alas con aletas.

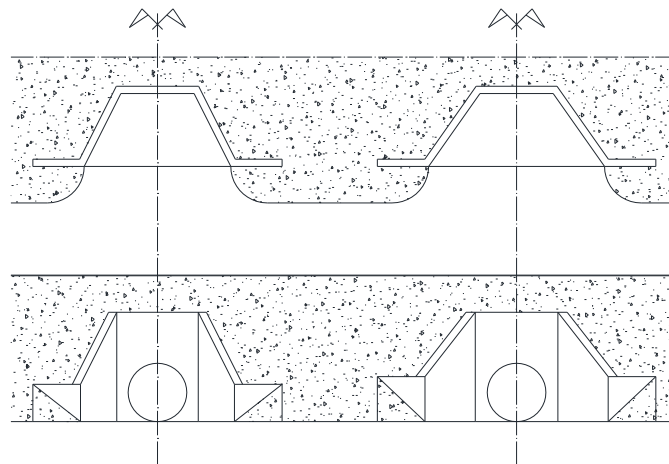
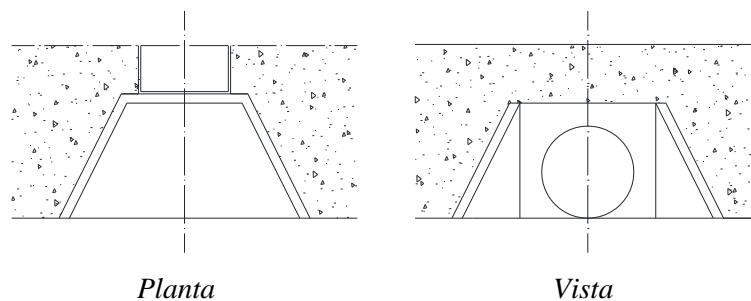


Figura 2.5. Muro con alas terminales a nivel de terreno.



2.7 ALCANTARILLAS SIN CABECERA

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

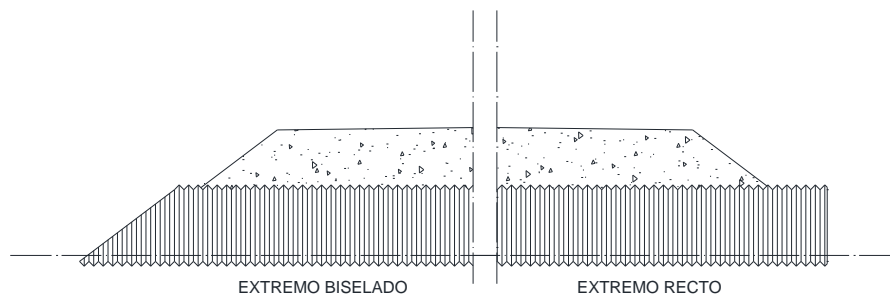
Esta embocadura tiene menor eficiencia hidráulica, se la emplea cuando son remotas las posibilidades de procesos erosivos. En general esta solución resulta más económica que la construcción de muros propiamente dicha (mayor longitud de conductos versus muros de cabecera).

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 arrastre y no controlan el empuje de tierra de los terraplenes.

Se presentan tres clases de extremos prolongados: extremos rectos, extremos biselados y extremos mixtos.

Figura 2.6. Alcantarillas sin cabeceras.



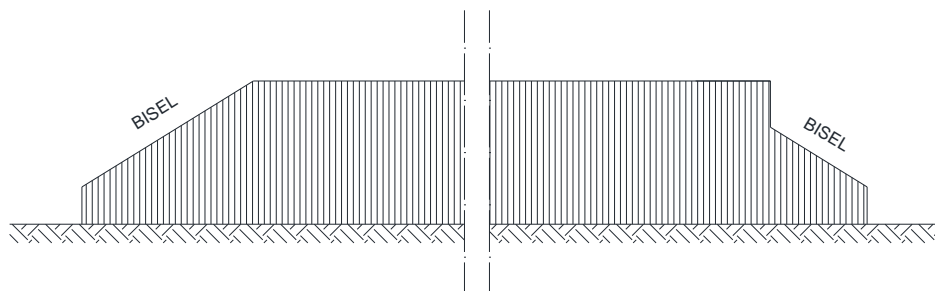
- **Extremos Rectos:** son los más simples y están conformados por un plano vertical, normal al eje del conducto.
- **Extremos Biselados:** denominados también chaflanados o tipo silbato, se conforman acompañando el talud de los terraplenes. El corte se realiza sobre un plano perpendicular al plano vertical que contienen 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 de 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 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 2.7. 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 el eje de la carretera son perpendiculares. Cuando esto no ocurre se dice que la alcantarilla es esviada (también suele emplearse el término 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, las problemáticas emergentes de posibles embancamientos y depósitos de materiales en el interior del conducto. En estos casos de las alcantarillas deben ser diseñadas con platea para lograr un mejor funcionamiento hidráulico y facilitar las tareas de mantenimiento.

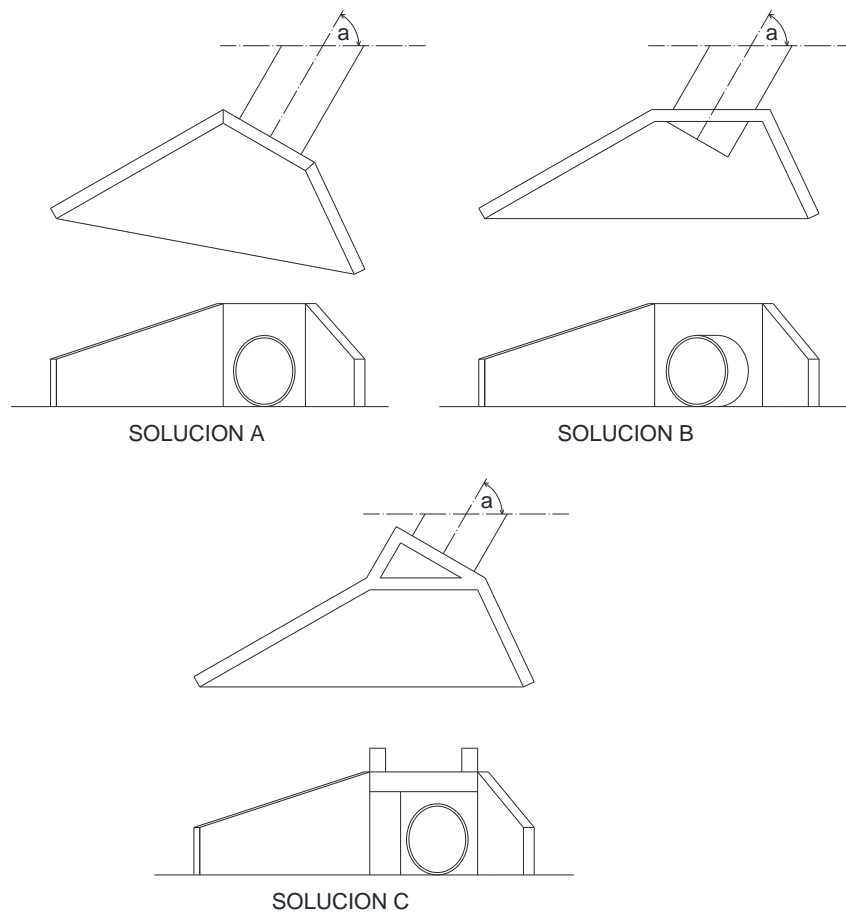
La resolución del diseño de alcantarillas con esviaje mayor a 45° no debería ser contemplada como caso genérico en los planos tipo.

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 de control de entrada.

En caños de hormigón no deberían diseñarse pendientes inferiores a 0,5%.

Figura 2.8. Muro en alcantarillas esviadas.



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 alturas elevadas.

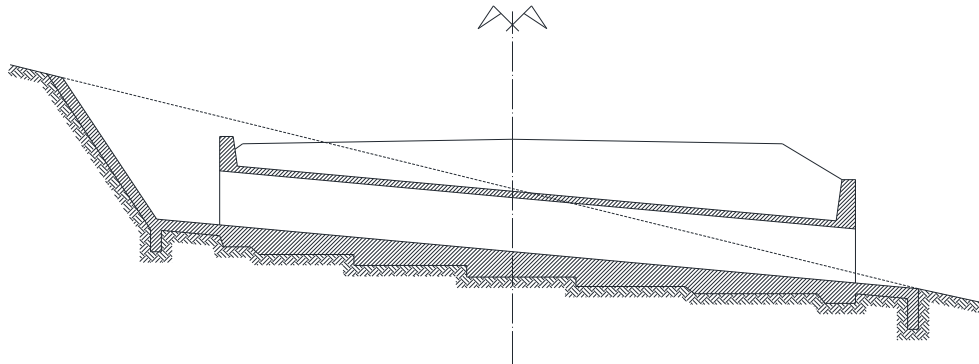
En conductos de chapa ondulada cincada la pendiente mínima será en función del tipo de ondulación, diámetro y profundidad del escurrimiento. Pendientes del orden 1,3% a 2,7% asegurarían el escurrimiento crítico. Estos valores se reducen entre 25% y 30% si el fondo del conducto es pavimentado.

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 disminución 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 de material 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.

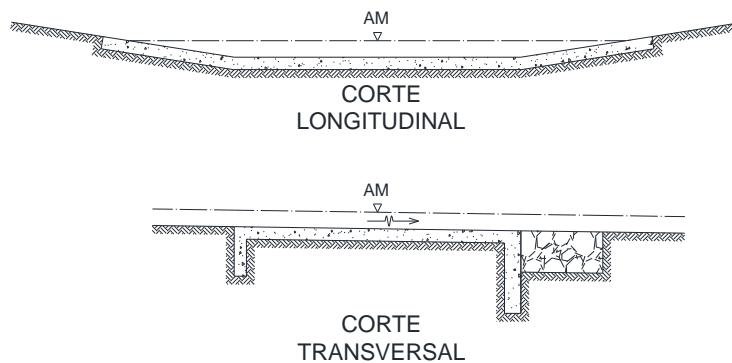
Figura 2.9. Profundización el lecho de la entrada.



2.10 BADENES Y ALCANTARILLAS

En caminos de bajo tránsito (los costos deben ser reducidos al máximo) se suele utilizar un tipo de obra denominado 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.

Figura 2.10. Badén.



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 debajo de la corriente para controlar la socavación. Aguas bajo se suelen construir colchones de gaviones ya que es la zona más expuesta a la erosión.

Deben colocarse carteles de prevención advirtiendo la presencia del badén. El diseño hidráulico suele hacerse con un tirante máximo de agua de 1,00m en caso de crecientes extraordinarias, en caso de 0,30m a 0,40m para crecientes ordinarias.

2.11 FUNDACIÓN DE ALCANTARILLAS

2.11.1 GENERALIDADES

Las alcantarillas son obras de arte que por estar ubicadas por debajo de las obras de un camino, 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 suelos para 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 al de una circunferencia de radio de 10 m. En caso de 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 existe 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.

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 siguiente tabla:

Tabla 2.1. Cargas admisibles sobre roca Norma DIN 1054.

| DESCRIPCIÓN DE LA ROCA | CARGA ADMISIBLE (Kg/cm ²) |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| Con estratificación marcada | 15,0 |
| En estado masivo o columnar | 29,0 |

Nota: 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 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 calidad del proceso constructivo.

2.13 ABRASIÓN

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, 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, provocado su deterioro.

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

- **Fuera del 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 (por ejemplo superiores al 10% del tiempo de servicio de la estructura). Se consideran aguas blandas aquellas en que el tenor de cloruros y sulfatos es menor de 250 mg/lit.
- **Especiales:** son aquellas obras cuyas características no está comprendidas en las dos categorías anteriormente 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 tiene particularidades propias en cuanto a su incidencia en los procesos corrosivos.

- **Suelo:** la agresividad de un suelo se incrementa en la medida que aumenta su concentración de sales solubles.
- **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

a) 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 este punto y los que transporta hacia el curso inferior. En oportunidad de crecidas aumenta el caudal, la velocidad del agua y por ende la capacidad de arrastre, originándose fenómenos de socavación con remoción del material de fondo que es transportado aguas abajo.

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

b) 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 la 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 despegas 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 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

2.15.2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La constricción 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 disposición. Esto

adquiere notable significancia en caminos de montaña y en regiones con suelos disgregables.

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

- **Coluvial:** bloques, rodados, gravas, etc.
- **Aluvio coluvial:** fragmentos de rocas, rodadas, gravas, etc.
- **Aluvial:** arrastres flotantes, árboles, troncos, arbustos, etc.
- **Arrastre fluentes:** material en suspensión como ser arcillas, limos, arenas, gravillas.
- **Acarreo de fondo:** rodados, fragmentos de roca, gravas, etc.
- **Riadas de barros.**

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 de permitir en condiciones adecuadas, al 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 esta obras no debe permitirse la obstrucción del conducto, ya que en ocasiones de avenidas máximas, el escurrimiento puede no ser suficiente para realizar una auto limpieza, fluyendo el agua por sobre el terraplén.

Fotografía 2.1. Sección insuficiente del conducto.



Fotografía 2.2. Embanque de alcantarilla.



En todos los casos de escurrimiento 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 obstrucciones, los arrastres pueden ser clasificados en:

- **Arrastres flotantes livianos:** ramas pequeñas, varillas o rezago de poda de árboles, restos de basura, etc.
- **Arrastres flotantes medios:** ramas, palos, restos de infraestructura, animales muertos, etc.
- **Arrastres flotantes pesados:** árboles, troncos, raigambres, etc.
- **Arrastres fluentes:** arcillas, limos, arenas, etc.
- **Detritos finos:** materiales finos arrastrados por aguas tendientes a sedimentar con la disminución de la velocidad de la corriente.
- **Detritos gruesos:** gravas o fragmentos de roca.
- **Rodado o rocas.**

2.15.2.2 TIPOLOGÍA DE LOS DISPOSITIVOS PARA CONTROL

Los dispositivos más usualmente empleados en el control de obstrucciones y embancamientos son: deflectores, rejillas, aletas terminales, chimeneas, bateas de sedimentación y presas de sedimentación.

Tabla 2.2. Dispositivos para control de arrastres.

| ARRASTRES | DISPOSITIVOS | | | | | | |
|--------------------|--------------|------|-------|-------------------|----------|---------------------|------------------|
| | DEFLECTOR | REJA | JAULA | TERMINAL DE PILAS | CHIMENEA | BATEA SEDIMENTACION | PRESA Y DEPOSITO |
| FLOTANTES LIVIANOS | | * | * | | | | |
| FLOTANTES MEDIOS | * | * | | | | | |
| FLOTANTES PESADOS | * | | | * | | | |
| MASAS FLUIDAS | | | | | * | | * |
| DETRITOS FINOS | | | | | * | * | * |
| DETRITOS GRUESOS | | | * | | | | * |
| RODADOS O ROCAS | * | | | | | | |

a) DEFLECTOR DE ARRASTRES

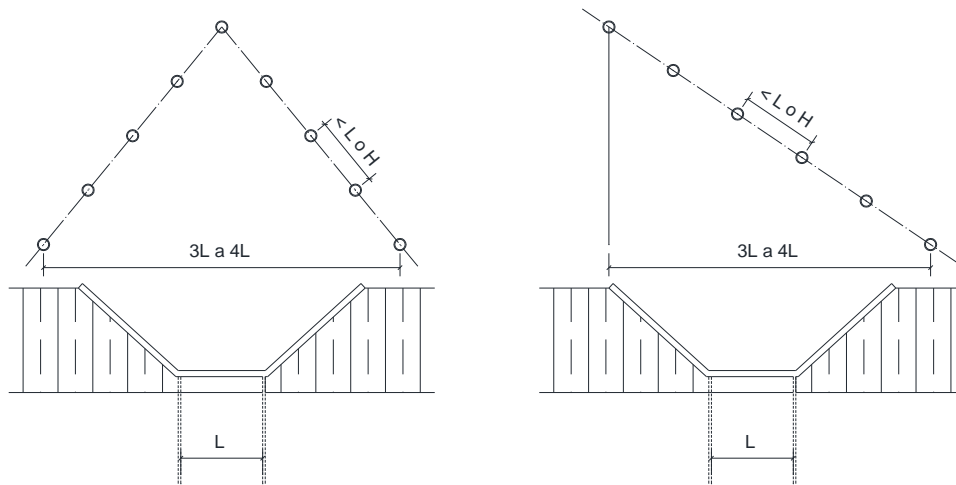
La función del deflector es apartar de la corriente durante las crecidas de máxima los arrastres flotantes medios, pesados, los rodados y rocas, acumulándolos en áreas de almacenamiento para su posterior remoción mediante tareas de mantenimiento.

El deflector de arrastres está constituido por caños o perfiles de hierro (son muy apropiadas las rieles en desuso del ferrocarril) o postes de madera, con suficiente rigidez para absorber el impacto del material en movimiento, empotrados en el suelo y dispuestos sobre su protección 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 a 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.

Figura 2.11. Deflector de arrastres.



Fotografía 2.3. Deflector de arrastre emplazado.

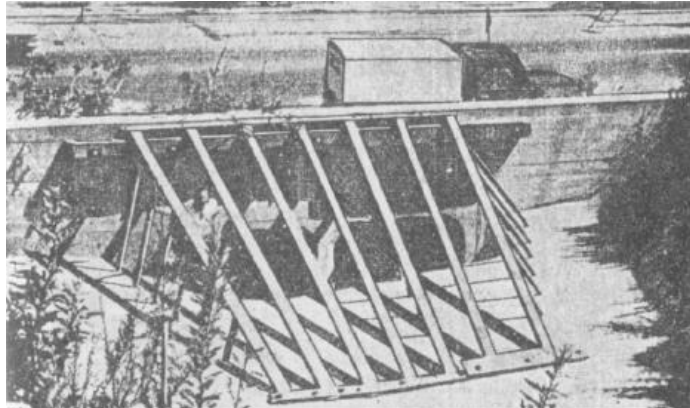


Las condiciones planialtimétricas a la entrada del conducto pueden ser más conveniente el diseño de una sola línea de puntales inclinada hacia un lado de la entrada. En estos casos se dispone de una menor resistencia estructural.

b) REJAS

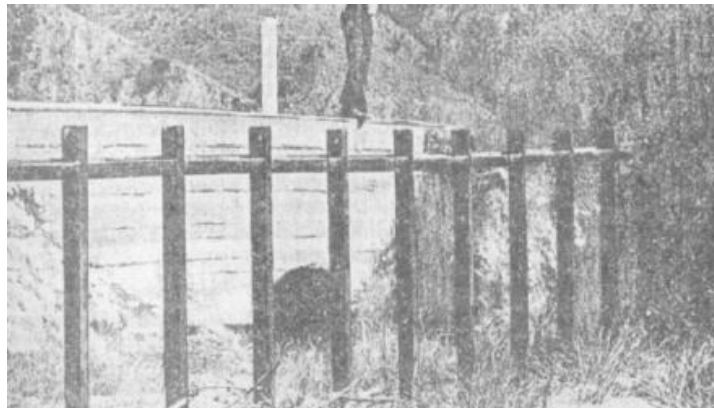
Las rejas admiten la retención de materiales de menor dimensión. Son colocadas en forma vertical o inclinada, con su proyección horizontal normal al eje de la corriente. Su altura debe alcanzar el máximo pelo de agua estimado para diseño.

Fotografía 2.4. Reja adosada al muro de cabecera.



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

Fotografía 2.5. Reja ubicada sobre el cauce.

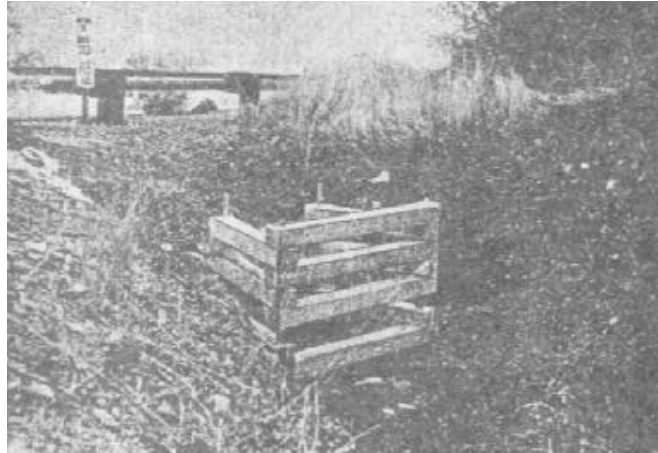


c) JAULAS

Son dispositivos para el control de obstrucciones con eficiencia de arrastres de flotantes livianos y detritos gruesos, en las 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 0,15m y 0,20m.

Fotografía 2.6. Jaula.



d) TERMINALES DE PILAS

El terminal de pilas 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, su función es orientar tales arrastres en su menor dimensión, para facilitar su peso por el interior de la alcantarilla.

La altura del muro debe coincidir con la altura de la alcantarilla a la entrada, 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.

Fotografía 2.7. Terminales de pilas.

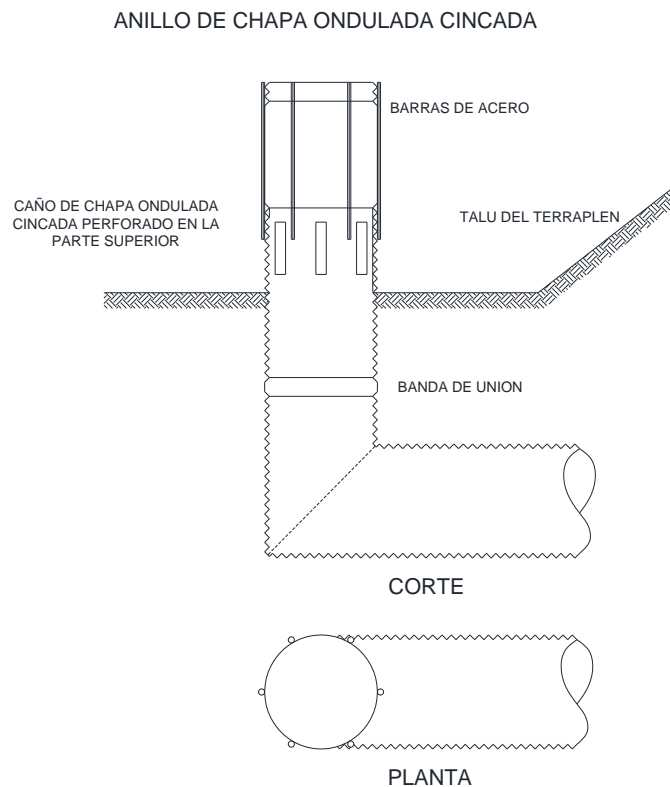


e) CHIMENEAS O TUBOS VERTICALES

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 embancamiento de materiales finos, o donde los arrastres consisten en masas fluentes de arcillas o limos.

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

Figura 2.12. Esquema de chimenea.



En general su uso está limitado a conductos con diámetros inferiores a 1,40m. Debido a su funcionamiento hidráulico presentan embancamientos en el interior del conducto obligando a su frecuente mantenimiento.

El diámetro de la chimenea debería ser mayor en 0,30m con respecto a la dimensión del conducto y su diámetro no ser inferior a 1,00m 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 capacidad ante avenidas de máximas, debido a que son obstruidos por flotantes livianos. Estos dispositivos se

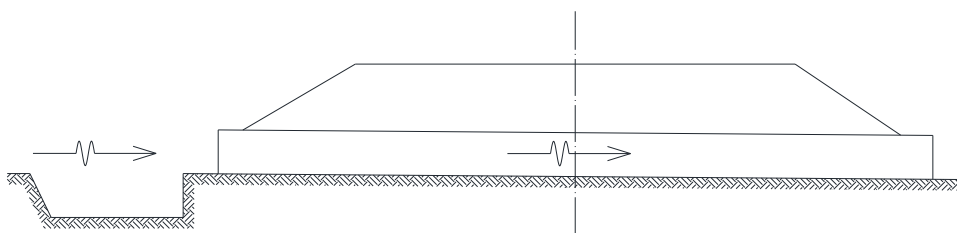
construyen con chapa ondulada cincada. Se suele reforzar la superficie interior del codo con un recubrimiento de hormigón, dado que es una zona sometida a fuerte abrasión.

Las chimeneas suele 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 2.13. Batea de sedimentación.



g) PRESA Y CUENCAS 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 aguas arriba del conducto y una cuenca de sedimentación aguas arriba de la presa que permitan el depósito del material arrastrado.

2.15.3 EROSIÓN DE ALCANTARILLAS

El fenómeno de erosión en la zona de emplazamiento de las alcantarillas suelen 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 retrocedente del cauce.

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

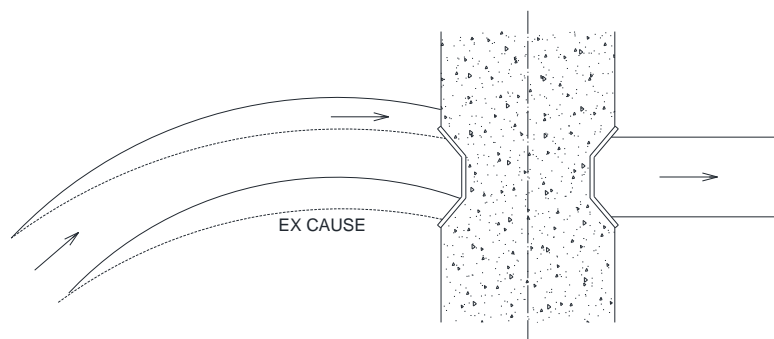
a) OBSTRUCCIÓN DEL CONDUCTO

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 de que este procedimiento no sea suficiente, puede ser necesario el diseño de dispositivos que controlen tales obstrucciones.

b) 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 esviaje del escurrimiento respecto al eje del conducto. Este fenómeno provoca la localización de procesos erosivos sobre uno de los lados de la embocadura.

Figura 2.14. Cambio de dirección de la corriente.



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 la protección de la zona afectada.

c) 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.

d) 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 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.

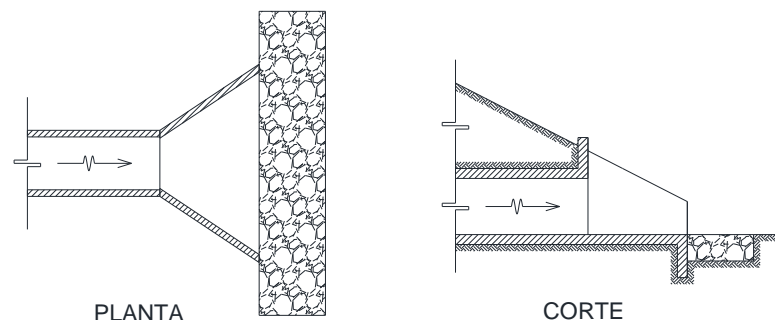
Los elementos más usuales que se disponen para el control de erosión son: enrocamientos, engavionados, muros, tablestacados, dientes de protección de fundaciones, disipadores de energía, saltos, rápidos, etc.

Los más efectivos son aquellos que conforman estructuras no rígidas, ya que admiten un acomodamiento, 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 ante posibles socavaciones a la salida del conducto.

La erosión en el fondo del conducto se controla mediante una 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 está prevista.

Figura 2.15. 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, prever dientes disipadores de energía y batea terminal.

Figura 2.16. Terminal de alcantarilla batea con enrocamiento.

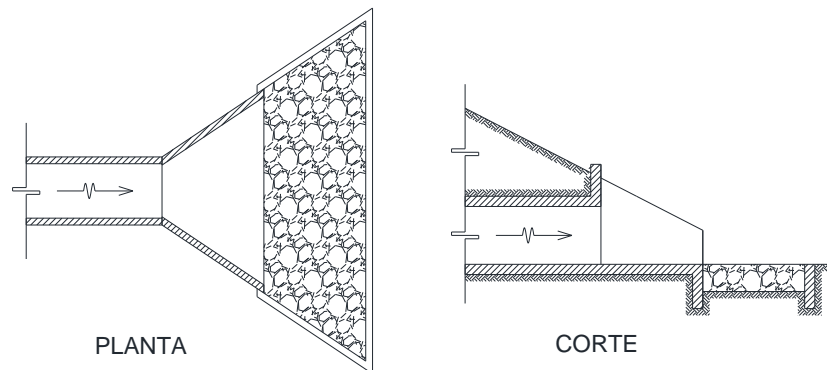


Figura 2.17. Terminal de alcantarilla con batea de hormigón.

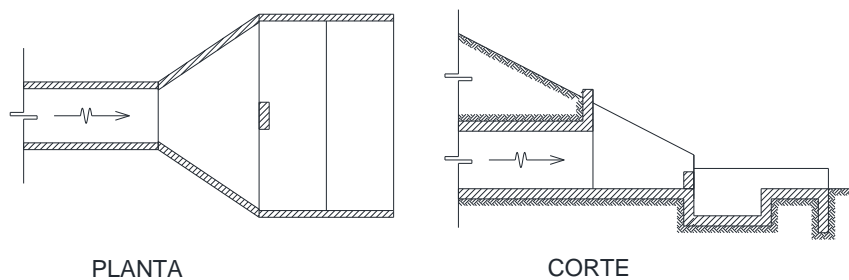


Figura 2.18. Terminal de alcantarilla con batea de gaviones.

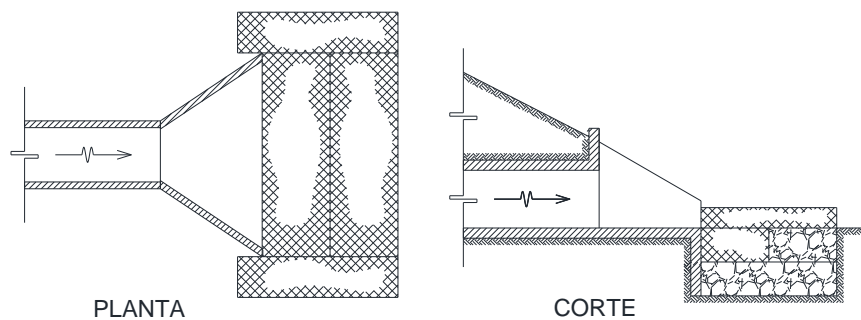
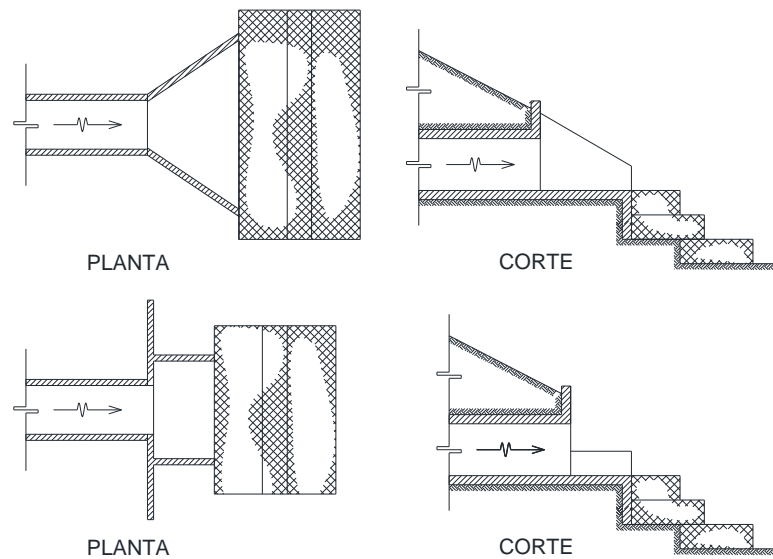


Figura 2.19. Terminal de alcantarilla con salto de gaviones



2.16 ALCANTARILLAS DE HORMIGÓN

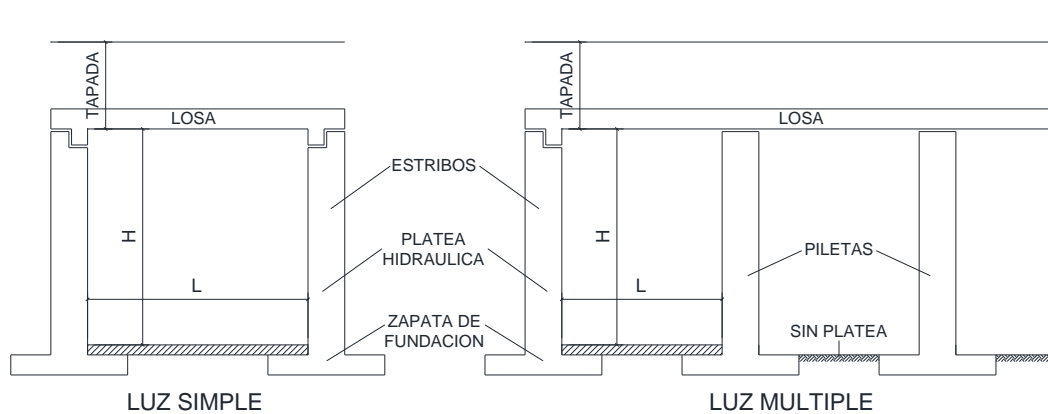
2.16.1 ALCANTARILLAS DE SECCIÓN RECTANGULAR

2.16.1.1 TIPOLOGÍA

Se presentan dos tipos estructurales:

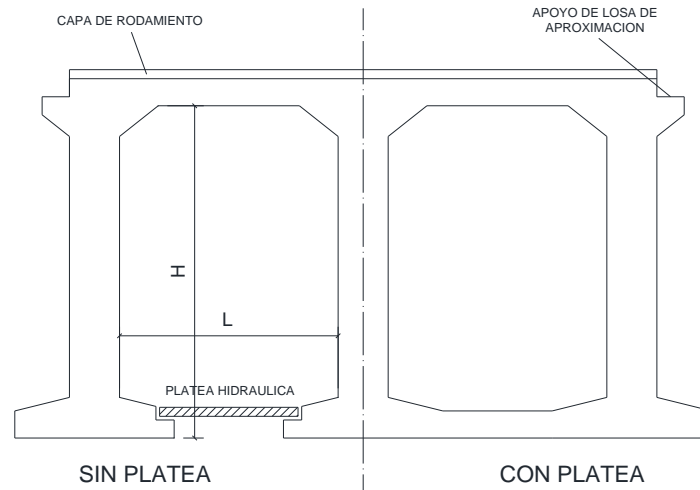
Losa sobre estribos: en la figura se presenta un esquema de su sección transversal.

Figura 2.20. Alcantarilla tipo losa sobre estribos.



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

Figura 2.21. Alcantarilla tipo pórtico.



2.16.1.2 ALCANTARILLAS DE LOSA SOBRE ESTRIBOS

a) GENERALIDADES

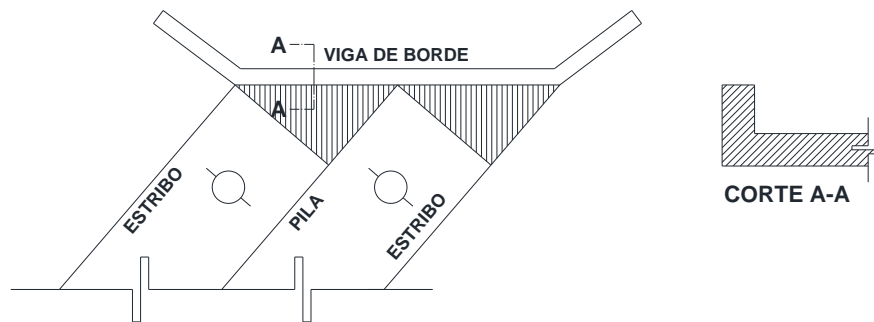
El rango más usual de aplicación de este tipo de estructuras es de luces entre 1,00m y 4,00m; alturas entre 1,00m y 3,00m, admitiéndose vanos múltiples para luces superiores a 2,00m.

b) 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 para 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 a continuación.

Figura 2.22. 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.

c) 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.

Figura 2.23. Modelos estructurales de estribos.



Con relación a los estribos y pilas para este tipo de estructura es conveniente diseñarlos con hormigón sin armar alturas de 1,50m y con hormigón armado para alturas mayores.

d) MUROS Y CABECERAS

Atendiendo al problema que presenta la geometría del muro de ala entre 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

a) GENERALIDADES

El rango más usual de aplicación de este tipo de estructura es de luces entre 3,00m y 6,00m, alturas entre 4,00m y 9,00m, admitiéndose varios múltiplos para luces iguales o mayores a 4,00m.

En general este tipo de alcantarilla no se la diseña con tapada de terraplén, si no 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.

b) MODELO ESTRUCTURAL

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

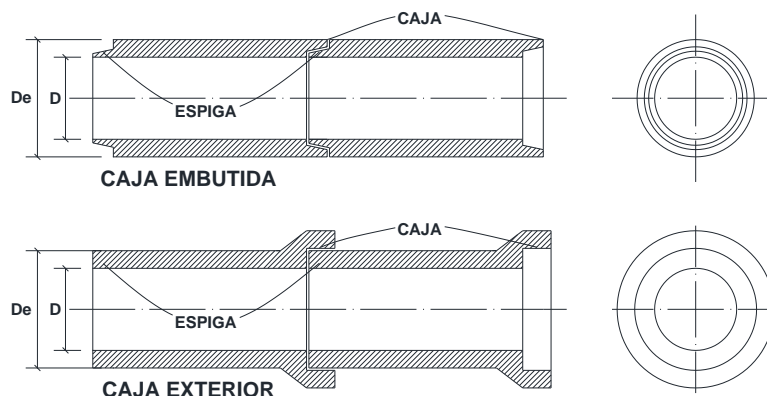
2.16.2 ALCANTARILLAS DE TUBOS CAÑOS DE HORMIGÓN

a) UNIDAD PREFABRICADA

Se utilizan generalmente para cubrir bajos caudales de escurrimiento. Se trata de elementos prefabricados de muy sencilla construcción y colocación. Los tubos caños se construyen en hormigón armado, con longitudes entre 1,00m y 1,20m. Se presentan dos tipos de terminales de caños.

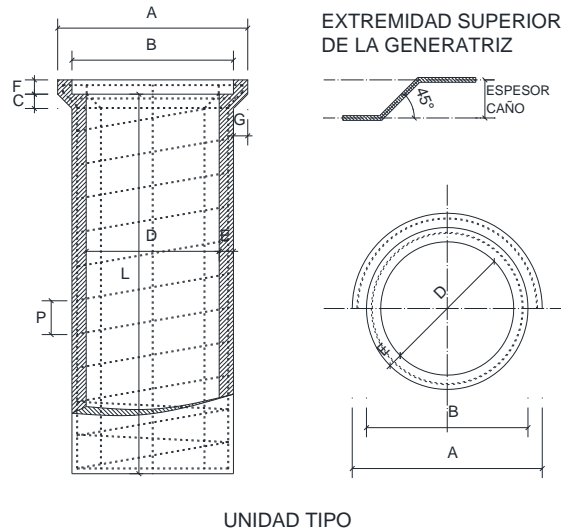
- Terminal embutido.
- Terminal exterior.

Figura 2.24. Tipos de caños de hormigón.



En general para diámetros mayores de 0,75m se dimensionan con doble armadura en espiral. A continuación se representa una unidad tipo de caño de hormigón.

Figura 2.25. Detalle de un caño de hormigón.

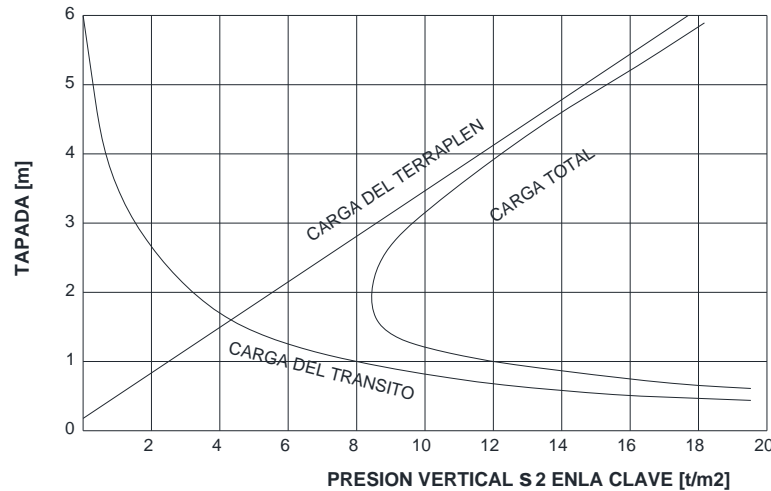


b) COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS CONDUCTOS

- Solicitaciones actuantes sobre los estribos: están sometidos a dos estados de cargas 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 efectos de lograr uniformidad en la distribución de cargas sobre conducto, la tapada mínima no sea inferior al espesor de la caja de pavimento más de 0,20m. En la siguiente figura se representa un diagrama de solicitaciones (presión vertical en la clave del tubo) para distintos valores de tapada, en un caño de 1,00m de diámetro.

Figura 2.26. Diagrama de solicitaciones sobre un caño de hormigón.



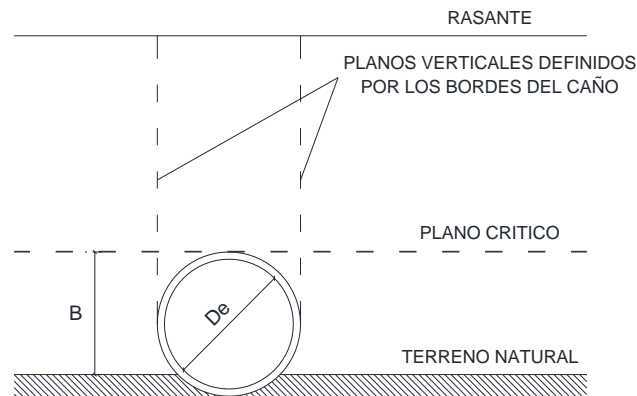
En la figura anterior puede realizarse las siguientes observaciones:

- Para tapadas entre 0,60m y 6,00m el estado de carga determinante corresponde a una tapada mínima de 0,60m, sumando los efectos de la carga del terraplén y la del tránsito.
- Tapadas inferiores a 0,60m y superiores 6,00m originan diseños estructurales no económicos.
- El estado de carga más favorable corresponde a una tapada del orden de 1,80m a 2,00m.

c) 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, 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 él. Se denomina plano crítico al plano horizontal tangente al caño en su clave.

Figura 2.27. Plano crítico.

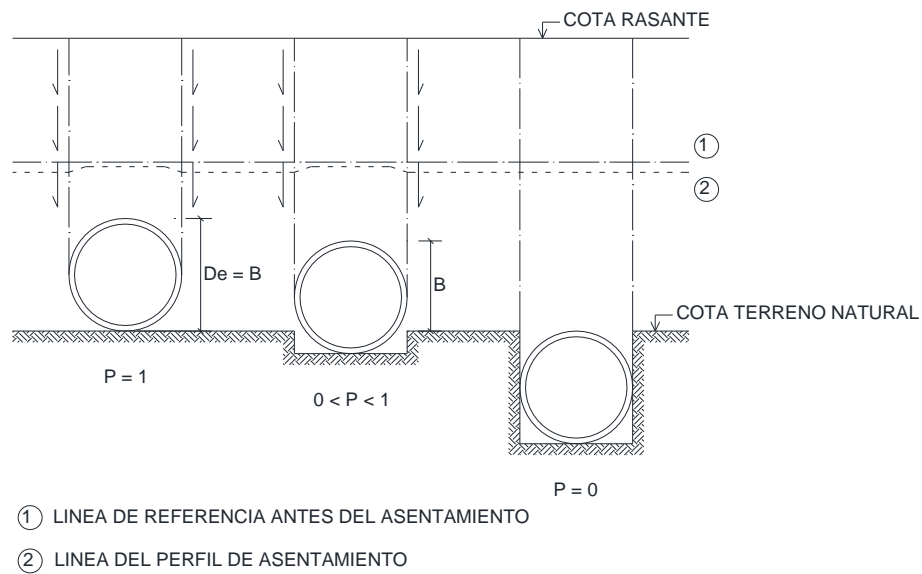
Se define como relación de proyección al cociente entre la altura del terraplén por debajo del plano crítico y el diámetro del conducto.

$$P = \frac{B}{De}$$

Siendo: P relación de proyección.

B diferencia entre la clave del conducto y el terreno natural.

De diámetro exterior del conducto.

Figura 2.28. 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.

d) COLOCACIÓN DE CAÑOS

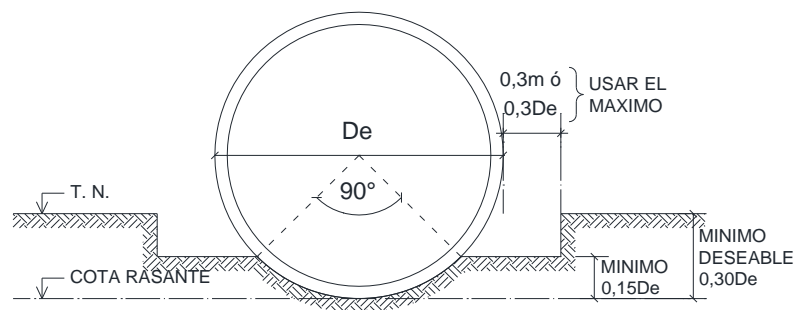
Para lograr un adecuado comportamiento de alcantarillas de caños debe procurarse una buena fundación, un conveniente relleno y compactación del terraplén en las adyacencias del conducto.

Se obtiene una correcta fundación de los caños cuando por lo menos del 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 $0,15$ debajo del terreno natural.

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 por debajo del terreno natural no menos de $0,30$ de De .

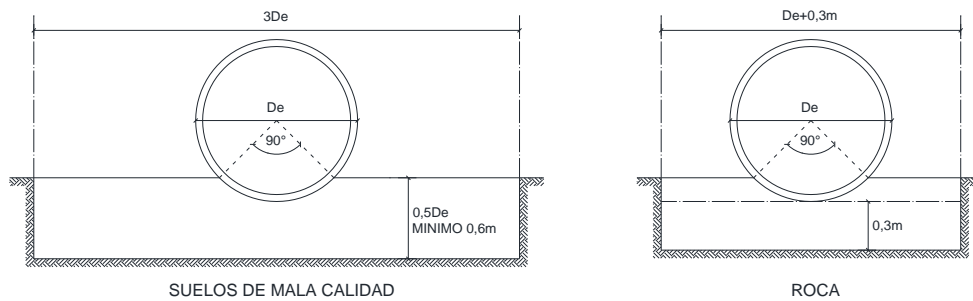
En caso que la fundación de los caños se realice sobre roca, debe excavar la misma por lo menos $0,30\text{m}$ bajo la cota de fundación y en un ancho igual a $De+0,30\text{m}$, rellenándose esta caja con una cama de suelo perfectamente conformada y compactada.

Figura 2.29. Fundación de caños de hormigón.



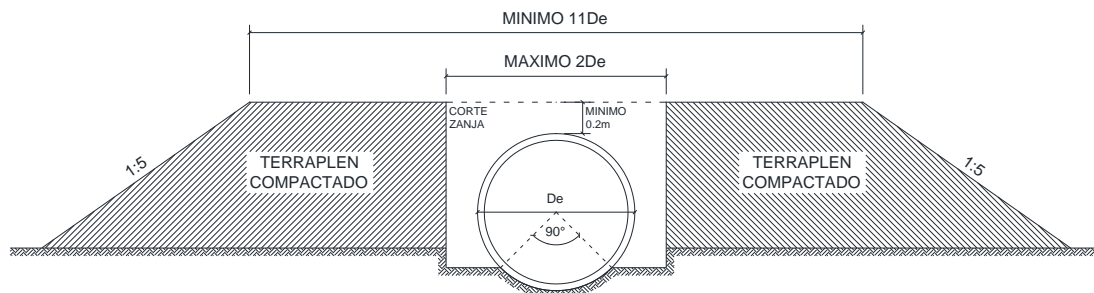
Los suelos de fundación de mala calidad (suelos de ciénagas, mallines, etc.) deben ser reemplazados por suelos aptos, excavando a tal efecto una caja mínima de $3De$ de ancho y $0,5De$ de profundidad (mínimo $0,60\text{m}$), rellenándose en capas compactadas de no más de $0,20\text{m}$ de espesor.

Figura 2.30. Fundación de suelos no aptos.



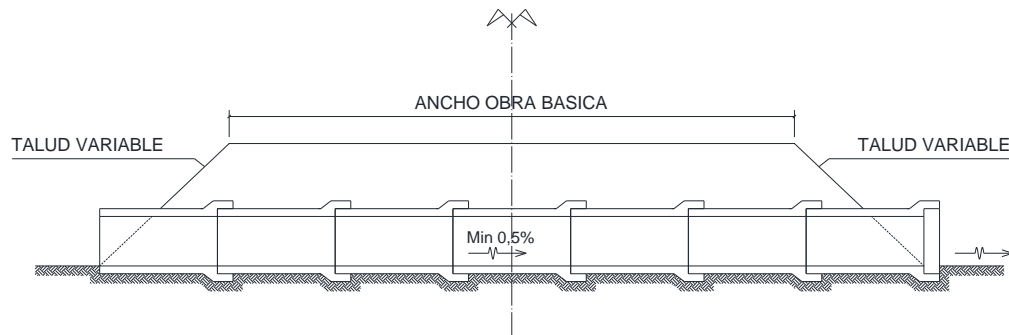
En lo que respecta al relleno y compactación del terraplén en las adyacencias del conducto puede decirse que en una buena técnica constructiva, tendiente a reducir los asentamientos diferenciales del terraplén en coincidencia con los planos de las proyecciones verticales de los tubos, es construir el terraplén en coincidencia con los planos de las proyecciones verticales de los tubos, construyendo también el terraplén compactado donde ira ubicada la alcantarilla hasta 0,20m 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.

Figura 2.31. Colocación de caños en zanja.



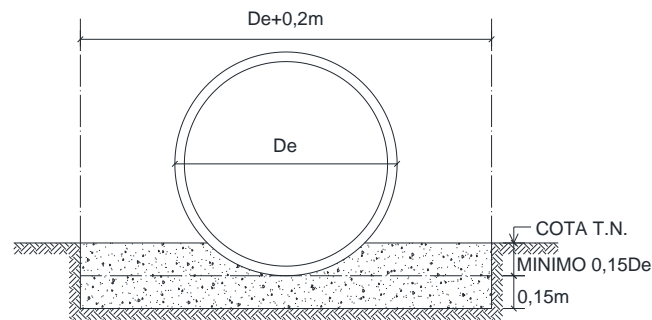
El conducto deberá comenzar a construirse a partir del extremo aguas abajo, dirigiendo el terminal de caja hacia aguas arriba.

Figura 2.32. Colocación de caños.



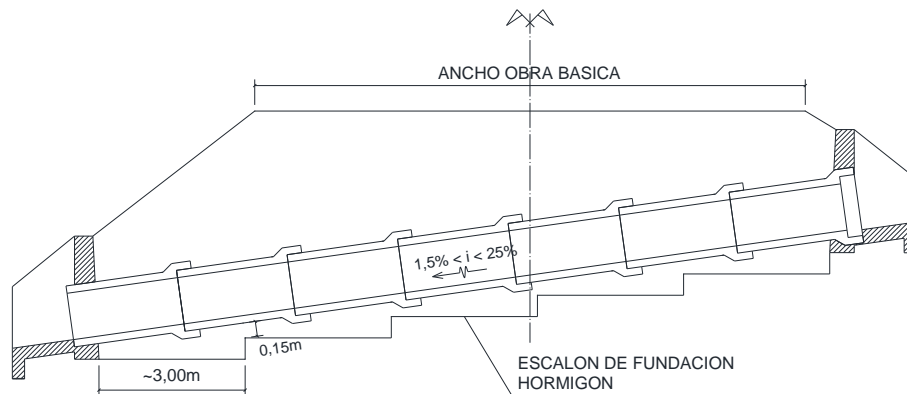
Razones de eficiencia hidráulica determinan que la pendiente longitudinal de los tubos no sea inferior al 0,50%. Con pendientes longitudinales inferiores a 10% los caños pueden fundarse sobre una base de suelo de calidad adecuada. No obstante, ante las dificultades de orden constructivo que ofrece la colocación de los caños, es aconsejable prever la base de asiento de hormigón en todos los casos.

Figura 2.33. Base de asiento de hormigón.



Para pendientes superiores al 15% 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 3,00m.

Figura 2.34. Colocación de caños con fuertes pendientes.

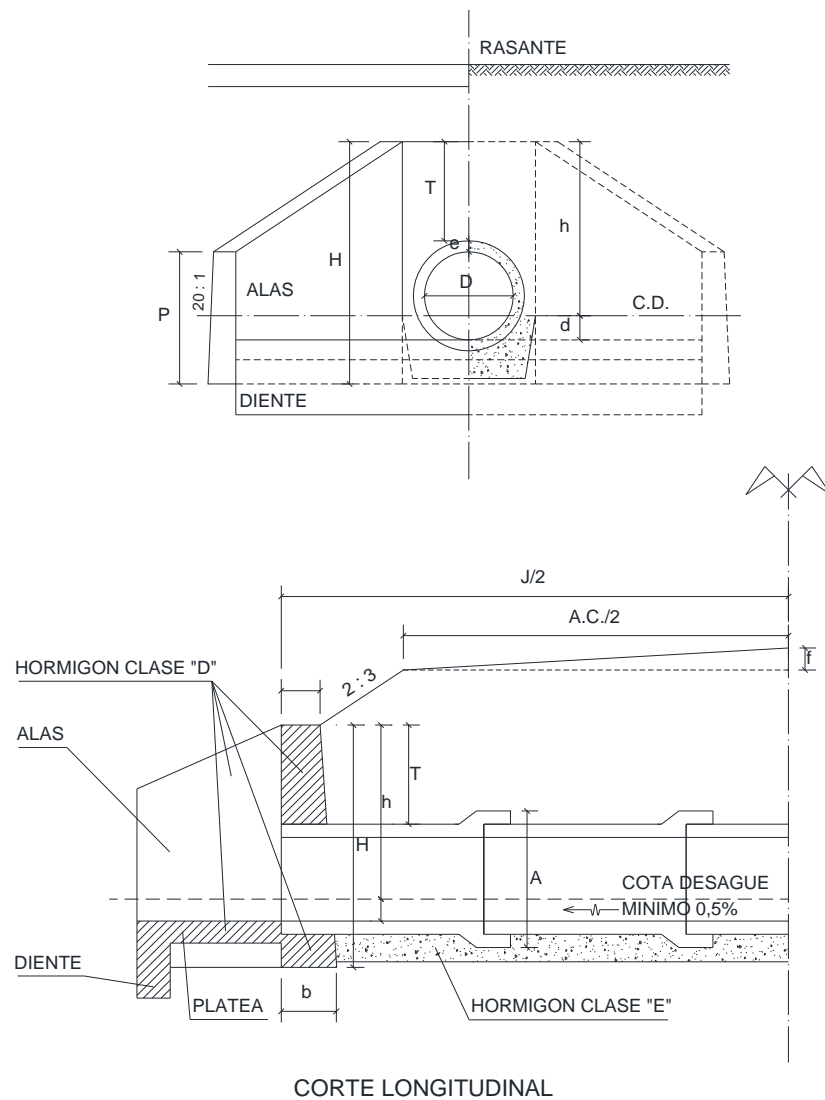


e) MUROS DE CABECERA

Este tipo de conducto puede no llevar muros de cabecera, prolongándose los extremos a fin de cubrir el talud de los terraplenes. Esta solución no es aconsejable ya que ofrece una conformación inadecuada para el control de los procesos erosivos en los casos de los 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.

Figura 2.35. Alcantarilla de caños de hormigón con muros de cabecera.



2.17 ALCANTARILLAS DE CHAPA ONDULADA CINCADA

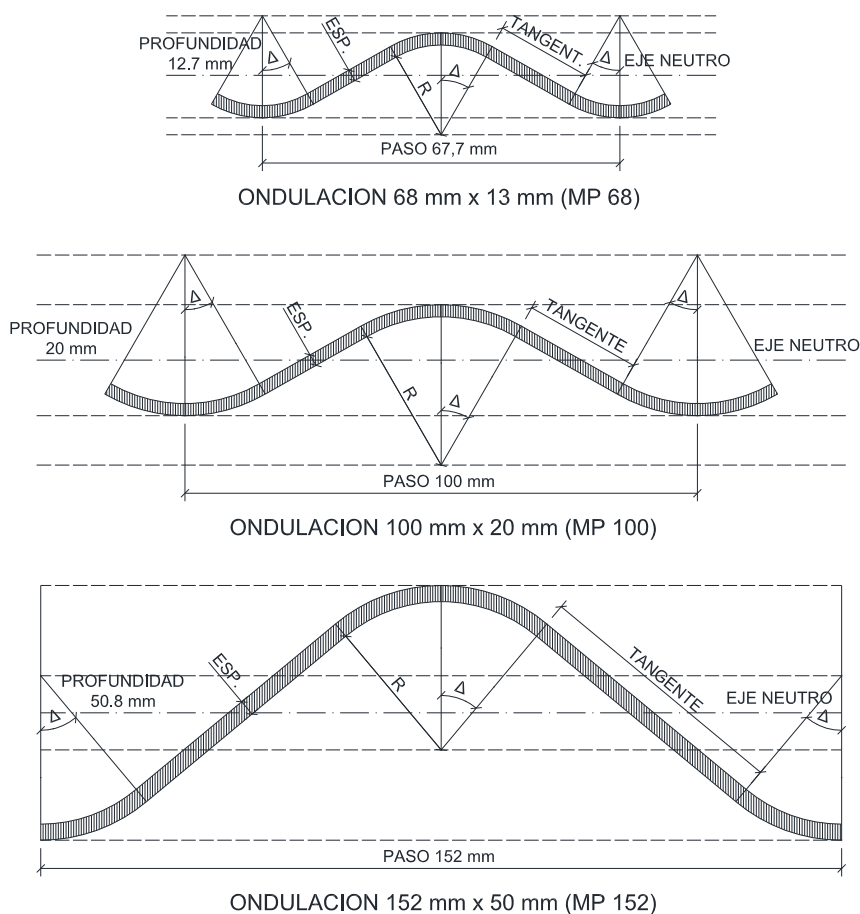
2.17.1 MATERIAL

Se fabrican con chapas de acero Onduladas recubiertas con una chapa de cinc en ambos lados.

El recubrimiento con cinc se realiza mediante un proceso de inmersión en caliente, ya que el elevado requerimiento de aporte de cinc para lograr una adecuada protección (6000 a 900 gramos por metro cuadrado de chapa) no permite el empleo de procesos electrolíticos.

Comercialmente las chapas suelen presentar tres tipos de ondulación, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 2.36. Tipos de ondulación chapas cincadas.



- Ondulación 68mm x 13mm: denominado ondulación MP 68, se presenta en espesores de hasta 3,20mm y corresponde a la chapa con menor módulo resistente.
- Ondulación 100mm x 20mm: denominado ondulación MP 100, se presenta en espesores de hasta 3,20mm.
- Ondulación 152mm x 51mm: denominado ondulación MP 152, se presenta espesores de hasta 7,00mm y corresponde a la chapa con mayor módulo resistente.

La combinación de espesor y tipo de ondulación permite la obtención de chapas con diferentes resistencias estructurales. Esto posibilita la construcción de conductos, con

distintas formas geométricas y diversas dimensiones, a emplear a determinados rangos de solicitaciones (cargas del tránsito mas carga del terraplén).

2.17.2 TIPOLOGÍA DE CONDUCTO

Se fabrican comercialmente cinco formas básicas de conductos de chapa ondulada cincada.

2.17.2.1 CIRCULAR

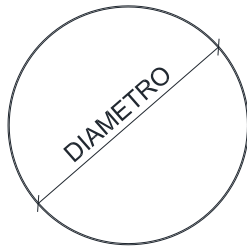


Figura 2.37. Sección circular.

Ondulación: MP 68

Sistema encajable: $0,30\text{m} \leq D \leq 2,10\text{m}$

Sistema helicoidal: $0,30\text{m} \leq D \leq 1,20\text{m}$

Sistema remachado: $0,50\text{m} \leq D \leq 2,00\text{m}$

Sistema abulonado: $0,60\text{m} \leq D \leq 1,80\text{m}$

Ondulación: MP 100

Sistema abulonado: $1,50\text{m} \leq D \leq 3,00\text{m}$

Ondulación: MP 152

Sistema abulonado: $1,50\text{m} \leq D \leq 6,00\text{m}$

Esta forma de conducto le confiere la mayor resistencia estructural, resultando en consecuencia conductos más económicos a igual sección que los de las otras formas. Admiten además ser colocados bajo terraplenes de gran altura.

2.17.2.2 ABOVEDADO

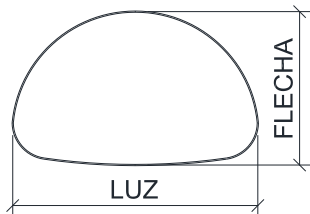


Figura 2.38. Sección abovedada.

Ondulación: MP 68

Sistema encajable y $0,50\text{m} \leq L \leq 2,00\text{m}$

Sistema abulonado: $0,37\text{m} \leq F \leq 1,32\text{m}$

Ondulación: MP 100

Sistema abulonado: $1,20\text{m} \leq L \leq 2,50\text{m}$

$1,00\text{m} \leq F \leq 1,86\text{m}$

Ondulación: MP 152

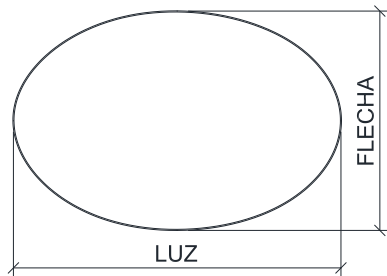
Sistema abulonado: $1,95\text{m} \leq L \leq 6,30\text{m}$

$1,45\text{m} \leq F \leq 4,00\text{m}$

Responde a una sección abovedada formada por cuatro arcos de circunferencia. Esta sección presenta un mejor eficiencia hidráulica que la circular para bajas alturas de escurrimiento de caudales. Se emplea bajo terraplenes de poco espesor, ya que admite

tapadas máximas solo del orden del tercio de las admisibles en caños circulares de similar área e igual espesor de chapa.

2.17.2.3 ÓVALO

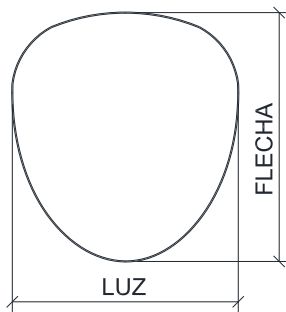


Ondulación: MP 152 (Súper Span)
 Sistema abulonado: $5,89\text{m} \leq L \leq 12,19\text{m}$
 $3,89\text{m} \leq F \leq 9,02\text{m}$

Figura 2.39. Sección ovalada.

Son Conductos diseñados especialmente para resolver secciones de gran magnitud. La concepción estructural de su sección resistente se basa en la complementación de la resistencia convencional del conducto con dos puntos de apoyo adicionales laterales de gran rigidez. Estos puntos están conformados por dos vigas de empuje adosadas en los laterales superiores del conducto en toda su longitud.

2.17.2.4 OVOIDE



Corresponde a secciones usadas principalmente para circulación por debajo de una carretera.

Figura 2.40. Sección ovoide.

2.17.2.5 BÓVEDAS

Corresponden a estructuras conformadas por bóvedas de chapa ondulada cincada empotradas sobre fundaciones rígidas. Se presentan según tres tipos:

1) Bóveda normal

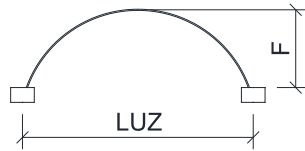


Figura 2.41. Bóveda normal.

Ondulación: MP 152

Sistema abulonado: $2,00\text{m} \leq L \leq 9,00\text{m}$

$0,65\text{m} \leq F \leq 4,02\text{m}$

2) Bóveda de perfil alto (luces grandes)

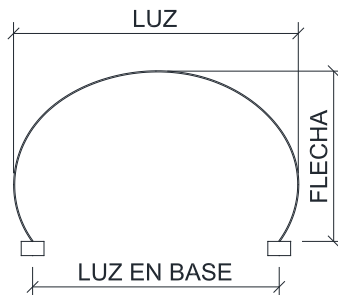


Figura 2.42. Bóveda de perfil alto.

Ondulación: MP 152

Sistema abulonado: $6,12\text{m} \leq L \leq 11,58\text{m}$

$2,77\text{m} \leq F \leq 7,16\text{m}$

3) Bóveda de perfil bajo (luces grandes)

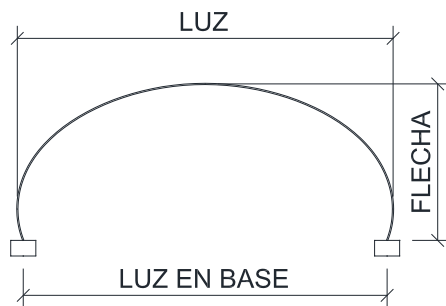


Figura 2.43. Bóveda de perfil bajo.

Ondulación: MP 152 (Súper Span)

Sistema abulonado: $5,12\text{m} \leq L \leq 11,78\text{m}$

$2,29\text{m} \leq F \leq 4,80\text{m}$

2.17.3 CAÑO CIRCULAR DE CHAPA ONDULADA CINCADA

2.17.3.1 ONDULACIÓN MP 68

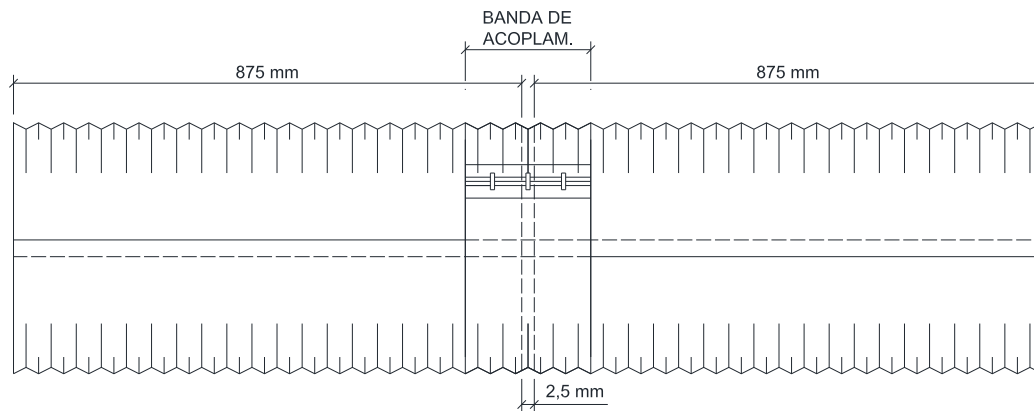
Comercialmente se fabrican según cuatro sistemas, las cuales se detallan a continuación:

1) Caño remachado: las chapas onduladas con una dimensión de 0,90 metros y la otra variable, son curvadas para formar el conducto, remachándose a lo largo de su junta longitudinal. Cada tramo adicional es solapado sobre el anterior y remachado al mismo, formando secciones de tubo de longitud múltiplo de 0,875 metros hasta un

máximo de 7,875 metros para diámetros hasta de 1,00 metro, y 6,125 metros para diámetros mayores. Estos caños se construyen en diámetros entre 0,50 metros y 2,00 metros. La unión de varias secciones se realiza mediante bandas exteriores de acoplamiento (bandas de unión).

Este tipo de caño se emplea en general cuando se necesita mayor estanqueidad en los conductos.

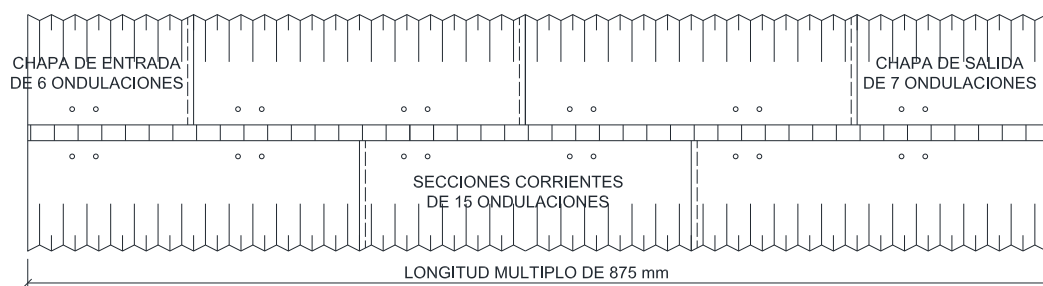
Figura 2.44. Caño circular remachado.



2) Caño encajable: los caños remachados son de costoso transporte, en especial los diámetros mayores por el volumen que ocupan, fabricándose entonces los caños tipo encajable a fin de reducir el costo del flete.

Los caños encajables constan de dos secciones semicirculares con pestañas salientes en un borde y perforaciones para los elementos de acople en ambos bordes. Las secciones se usan indistintamente para formar la parte superior o la inferior. Los tubos se arman en longitudes múltiplo de 0,875 metros. Al ser las juntas de las secciones superior e inferior alternadas, se proveen para cada alcantarilla una chapa especial de entrada y una de salida.

Figura 2.45. Caño circular encajable.



Estos caños se construyen en diámetros de 0,30 metros y 1,80 metros. El acople de las chapas se realiza por medio de grapas para diámetros de hasta 1,10 metros y por medio de pernos para diámetros mayores.

Este tipo de caño presenta problemas estructurales ya que la junta transversal no tiene elementos de unión y su solape es insuficiente. Además la junta longitudinal (línea encajable) no asegura una adecuada unión entre el elemento superior e inferior.

3) Caño abulonado: para evitar los problemas que presentan los caños encajables, la unión de las chapas puede lograrse mediante el solape y abulonado.

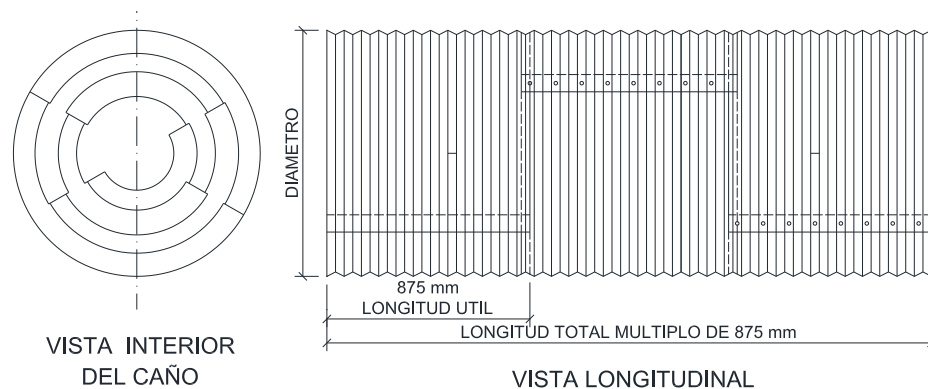
A tal fin las chapas se comercializan en unidades curvadas, con el debido solape y las perforaciones correspondientes.

Estos caños se arman en diámetros entre 0,60 metros y 1,80 metros, y en longitudes múltiplos de 0,875 metros.

Para diámetros de hasta 1,60 metros el perímetro del conducto se consigue con dos chapas y para diámetros mayores con tres chapas.

Para lograr una mayor rigidez del tubo las juntas longitudinales se construyen alternadas y las transversales continuas.

Figura 2.46. Caño circular abulonado.



3) Caño helicoidal: son construidos mediante chapas onduladas cincadas continuas desarrolladas en forma helicoidal, unidos sus bordes mediante una costura plegada denominada también junta ensamblada.

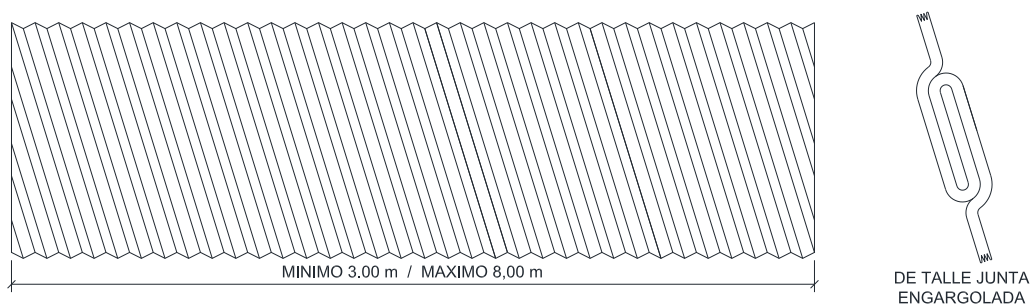
Se fabrican en diámetros variables entre 0,30 metros y 1,20 metros, con chapas de espesores de 1,60 mm y 2,00 mm, en longitudes variables entre un mínimo de 3,00 metros y un máximo de 8,00 metros.

El empalme entre tramos se realiza mediante bandas de unión o acoplamiento, ajustadas mediante bulones.

La resistencia en sentido longitudinal de este tipo de conductos es mayor que en los tubos convencionales (corrugado normal) ya que la dirección de las ondulaciones es en sentido diagonal. Esta característica hace que estos tubos sean más aptos para localizar sobre terrenos de relleno.

Además al carecer de junta longitudinal alineada horizontalmente, disponen de una mayor capacidad portante que los otros tipos descritos anteriormente.

Figura 2.47. Caño circular helicoidal.



2.17.3.2 ONDULACIÓN MP 100

Esta ondulación permite la fabricación de caños de mayor diámetro que los construidos con ondulación 68 mm x 13 mm a igualdad de espesor de chapa.

Las chapas se fabrican comercialmente para armado de caño mediante solape u abulonado, en dimensiones múltiplo de π de ancho y 1,00 metro de largo. Con ellas se construyen caños de diámetros entre 1,50 metros y 3,00 metros y en longitudes múltiplo de 1,00 metro.

Para diámetros hasta 1,60 metros el perímetro está formado por dos chapas, para diámetros entre 1,80 metros y 2,40 metros por tres chapas y para diámetros entre 2,50 metros y 3,00 metros por cuatro chapas.

A los efectos de lograr una mayor rigidez del conducto se construyen las juntas longitudinales desfasadas en 3,14 mm y las transversales continuas.

2.17.3.3 ONDULACIÓN MP 152

Los caños se arman en obra, solapando y uniendo por medio de bulones las chapas curvadas. Estas se fabrican curvando chapas onduladas cincadas de acuerdo a determinadas dimensiones modulares y diferentes curvaturas.

Las dimensiones de cada chapa responden a dos valores: medida neta o útil que es la que permite conformar las medidas netas del conducto y medida total de chapa que es la real de la chapa e incluye los solapes.

El largo de la chapa (medida en sentido longitudinal del conducto) se provee en longitudes variables netas entre un mínimo de 0,305 metros y un máximo de 3,66 metros, de acuerdo a las necesidades constructivas y a las disponibilidades en fábricas de material para chapas. Una adecuada combinación de estos valores permite la construcción de estos conductos con una longitud total múltiplo de 0,61 metros.

Las chapas se fabrican en cinco anchos netos variables, de módulos múltiplos de π . En este sentido el solape corresponde a doce centímetros para cada extremo: Las chapas se proveen comercialmente de acuerdo a la siguientes medidas:

Tabla 2.3. Detalle de chapas onduladas curvadas MP 152.

| TIPO | ANCHO | | LONGITUD | |
|------|-----------|------------|------------|------------|
| | NETO (cm) | TOTAL (cm) | NETO (cm) | TOTAL (cm) |
| 4 | 23 π | 73 | 30,5 a 366 | 40,5 a 376 |
| 5 | 31 π | 98 | | |
| 6 | 39 π | 122 | | |
| 7 | 46 π | 146 | | |
| 8 | 54 π | 171 | | |

2.17 HIDROLOGÍA PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS

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 los 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 una 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 las 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 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 de 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 2.4. Tiempo de recurrencia para diseño de obras viales según W. Jarocki.

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

La AASTHO en la guía para Drenaje de Caminos 1979, consigna una carta para la selección del tiempo de recurrencia para diseño de alcantarillas.

Tabla 2.5. Tiempo de recurrencia de diseño AASHTO 1979.

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

Tabla 2.6. Carta para la selección del tiempo de recurrencia para el diseño AASTHO 1979.

| PARÁMETRO | CALIFICACIÓN | | |
|--|--------------|--------------|---------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Daño de las propiedades | Bajo | Medio | Alto |
| Daño al camino | Bajo | Medio | Alto |
| Pérdidas potenciales de vida | Bajo | Medio | Alto |
| Altura de terraplén | < 6,0m | 6,0m a | > 15,0m |
| Costo de reconstrucción | Bajo | Medio | Alto |
| T.P.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 |

(1) 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 LAS 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 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 requerimiento está condicionado por una serie de parámetros: altura de terraplén, anegamiento de áreas aguas arriba del conducto, tipo de alcantarilla, velocidad admisible del escurrimiento.

De acuerdo con las condiciones hidráulicas emergentes aguas abajo 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, supercrítico; el régimen uniforme o variado, de acuerdo a las reales condiciones emergentes. A continuación se esquematizan los posibles escurrimientos que se dan usualmente en las alcantarillas.

Tabla 2.7. Resumen del escurrimiento en alcantarillas.

| SALIDA | | CONDUCTO | CARGA HIDRÁULICA | FLUJO | RÉGIMEN | LONGITUD HIDRÁULICA CONDUCTO | FUNC. HIDRÁULICO |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---|-------------------------|----------|------------------------------|------------------------------------|
| Libre $H_s \leq H_c$ | | Ideal $n=0$ $i=0$ | Sin carga $H_r \leq H$ | Crítico | Uniforme | Corta | Vertedero Compuerta Orificio |
| | | | Con carga $H_r > H$ | | | | |
| | | Real $n > 0$ | Sin carga $H_r \leq H$ Con carga $H_r > H$ | Subcrítico $i < i_c$ | Variado | Larga | Canal Tubería |
| | | | | Crítico $i = i_c$ | Uniforme | Corta | |
| Supercrítico $i > i_c$ | Variado Variado-Uniforme | | | Corta | | | |
| Sumergida $H_s > H_c$ | Total $H_s \geq H$ | Real $n > 0$ | Con carga $H_r > H$ | - | Uniforme | Larga | Tubería |
| | | | Con carga $H_r > H$ | - | Variado | Larga | Tubería Canal |
| | Parcial $H_s < H$ | Sin carga $H_r \leq H$ | - | Variado | Larga | Canal | |

2.18.2 ESCURRIMIENTO CON SALIDA LIBRE

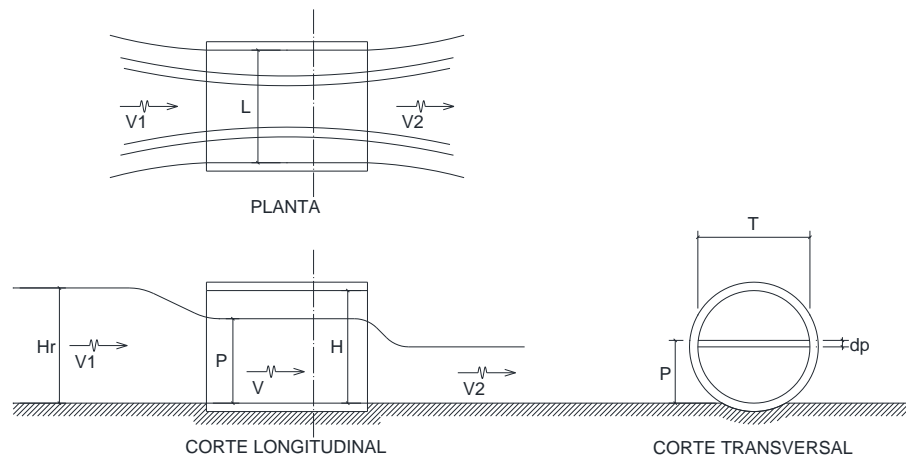
2.18.2.1 CONTROL IDEAL

2.18.2.1.1 ESCURRIMIENTO SIN PRESIÓN

a) 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 2.48. Conducto ideal escurrimiento con salida libre sin presión.



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

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

Siendo:

- E altura total de la energía específica en m.
- Hr altura del remanso para escurrimiento sin presión ($Hr_{max}=H$) en m.
- H altura de la alcantarilla en m.
- v_1 velocidad de escurrimiento antes del estrechamiento en m/s^2 .
- g aceleración de la gravedad en m/s^2 .
- P altura del agua en el conducto en m.
- v velocidad de escurrimiento en el conducto en m/s.
- hp pérdida de carga debida a la embocadura en m.

La velocidad v_1 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 v_1 es inferior a 1,0m/s siendo en consecuencia $v_1^2/2g = 0,05m$ en base a lo expuesto la expresión anterior queda reducida a :

$$E = Hr = P + \frac{v^2}{2g} + hp \quad E = Hr = P + \frac{v^2}{2g} + hp$$

La velocidad v del escurrimiento será:

$$v = \frac{Q}{A}$$

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

Reemplazando está en la segunda ecuación se obtiene:

$$E = Hr = P + \frac{Q^2}{gA^2} \frac{dA}{dP} = 1 - \frac{v^2}{gA} \frac{dA}{dP}$$

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

$$\frac{dE}{dP} = 1 - \frac{v^2 T}{gA} = 1 - \frac{V^2}{gd}$$

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

$$\frac{vc^2}{2g} = \frac{d}{2}$$

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.

$$F = 1 = \frac{v}{\sqrt{2g}}$$

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 ($P = Hc$). Para la condición mínima puede deducirse:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}$$

Ecuación que permite calcular el tirante crítico Hc 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 hp de la primera ecuación debida a la entrada del conducto puede expresarse como una fracción de la energía cinética:

$$hp = k \frac{vc^2}{2g}$$

Reemplazando en la primera ecuación y llamando $(1 + k) = 1/k^2$ siendo K el coeficiente de pérdida por embocadura, se obtiene:

$$Hr = Hr + \frac{v^2}{2gk^2} = Hc + \frac{Q^2}{A^2 2gk^2}$$

Operando:

$$Q = AQ\sqrt{2g(Hr - Hc)}$$

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

b) 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 , para distintos tipos de embocadura.

Tabla 2.8. Valores del coef. K para diseño de sección rectangular de hormigón.

| TIPO DE EMBOCADURA | α° (1) | k | K | EFICIENCIA HIDRÁULICA |
|-------------------------------------|--------------------|------|------|-----------------------|
| 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) ángulo 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 pérdida 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 siguientes.

Tabla 2.9. Valores del coeficiente K para diseño para $Hr/H=1$ para caños de hormigón de sección circular.

| TIPO DE EMBOCADURA | α° | 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 | 0,86 | 0,92 |
| Entrada abocinada (1) | - | 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 a continuación.

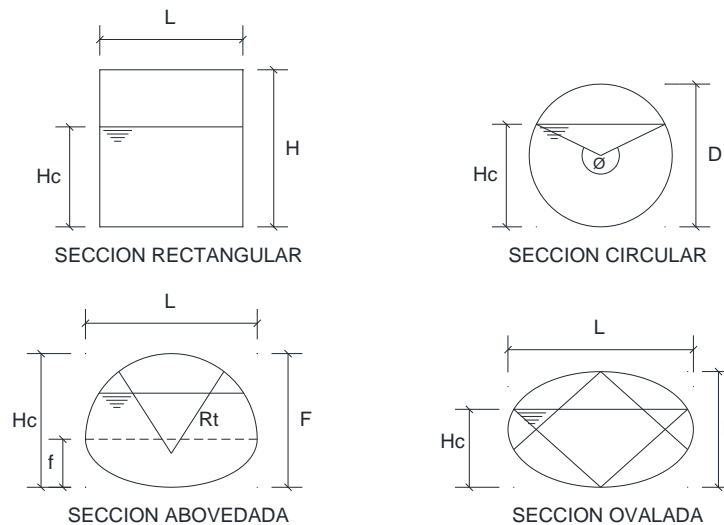
Tabla 2.10. Valores del coeficiente K para diseño para $H_r/h=1$ para secciones circulares, abovedadas y ovaladas de caños de chapa ondulada cincada.

| 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 |

c) EXPRESIONES ANALÍTICAS

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

Figura 2.49. Secciones típicas de escurrimiento.



- **Conductos de sección rectangular:**

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

$$H_c = 0,467 \left[\frac{Q}{L} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Operando:

$$Q = L \left[\frac{K^2 Hr}{0,2336 + 0,467K^2} \right]^{\frac{3}{2}}$$

- **Conductos de sección circular:**

$$Q = KA\sqrt{2g(Hr - Hc)}$$

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

Operando:

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

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

$$Q = 1,438 K \gamma D^{2/3}$$

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:

$$\gamma = \left[\frac{Hr}{D} \right]^{(1,477 - 0,625 \log(Hr/D))}$$

Este coeficiente también considera la variación K.

- **Conductos circulares de sección abovedada:**

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

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

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:

$$\gamma = \left[\frac{Hr}{F} \right]^{(1,266 - 0,911 \log(Hr/F))}$$

Este coeficiente también considera la variación de K.

- **Conductos de sección ovalada (valido para $L \geq 6,00m$):**

Puede emplearse la siguiente expresión aproximada:

$$Q = 1,43 K \gamma L F^{3/2}$$

Siendo γ un coeficiente de forma, valido entre los límites $0,50 \leq Hr/F \leq 1,00$ y que responde a la siguiente ecuación:

$$\gamma = \left[\frac{Hr}{F} \right]^{(1,414 - 0,228 \log(Hr/F))}$$

Este coeficiente también considera la variación de K.

b) ESCURRIMIENTO CON PRESIÓN

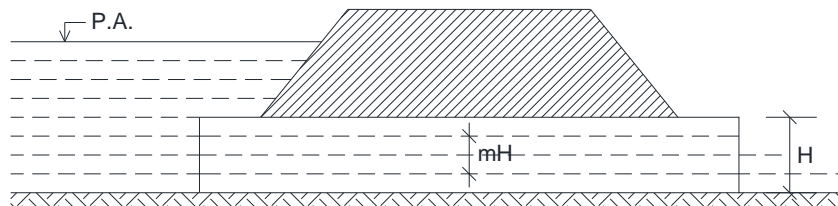
b.1) ANÁLISIS GENÉRICO

Los muros de cabecera del as alcantarillas no suelen estar diseñados para que las mismas funciones 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 conductor.

Estas razones justifican la conveniencia de no diseñar conductos que funcionen con presión. Cabe consignar 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 $Hr > H$, $Hr < 1,5H$ y en lo posible no superar $1,2H$.

Figura 2.50. Esgurrimiento 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:

$$Q = v A$$

Siendo: A función de m, la velocidad de escurrimiento estará determinada por la altura de carga.

$$Hr - m H = \frac{v^2}{2gK^2}$$

Operando:

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

b.2) EXPRESIONES ANALÍTICAS

- **Sección rectangular:**

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

$$m = 0,591 \left[\frac{Hr}{H} \right]^{(0,444 - 1,184 \log(Hr/H))}$$

- **Sección semicircular:**

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

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \left[1 - \frac{1}{180} \cos^{-1}(2m - 1) \right] + D^2 (m - 0,25) \sqrt{m(1 - m)}$$

Para caños de hormigón:

$$m = 0,697 \left[\frac{Hr}{D} \right]^{0,038}$$

Para caños de chapa ondulada cincada:

$$m = 0,648 \left[\frac{Hr}{H} \right]^{-0,032}$$

- **Sección abovedada:**

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

$$A = 1,00071 A_0 m^{(0,136 + 0,038 \log(Hr/F))}$$

Siendo: A_0 el área total de la sección transversal del conducto en m^2 .

$$m = 0,537 \left[\frac{Hr}{F} \right]^{(0,136 + 0,038 \log(Hr/F))}$$

La expresión de m es válida para caños de chapa ondulada cincada.

- **Sección ovalada (valido para $\geq 6,00m$):**

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

$$A = \frac{A_0}{100} (-19,54 + 116,52m + 87,26m^2 + 84,26m^3)$$

$$m = 0,663 \left[\frac{Hr}{F} \right]^{(-0,030 + 0,42 \log(Hr/F))}$$

La expresión de m es válida para caños de chapa ondulada cincada.

c) GRAFICAS

Estas graficas son especialmente aptas para el predimensionamiento de las secciones hidráulicas. En el Anexo 05 se ven figuras en las que se presenta la relación altura de remanso/caudal unitario para distintos tipos de conductos con muros de cabecera de alas (30° a 75°).

2.18.2.2 ALCANTARILLAS REALES

a) ANÁLISIS CONCEPTUAL

Hasta ahora se ha estudiado el escurrimiento de caudales suponiendo que el interior del conducto no intervendría en la regulación del caudal ($n = 0$; $i = 0$). La pérdida de carga en un conducto es función de una serie de parámetros: longitud de la alcantarilla, radio hidráulico, material del conducto y velocidad de escurrimiento.

El caudal de escurrimiento queda expresado por la siguiente ecuación:

$$Q = v A$$

Siendo: v la velocidad en m/s.

A la sección de escurrimiento en m^2 .

El valor de la velocidad puede expresarse mediante formula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

Siendo: i pendiente del conducto en m/m.

R radio hidráulico en m ($R = A/P$).

n coeficiente de rugosidad de Manning.

A sección de escurrimiento en m^2 .

P perímetro mojado en m.

Ahora bien, se había visto que la embocadura del conducto regulaba el máximo caudal con una velocidad de escurrimiento que se denominaba crítica.

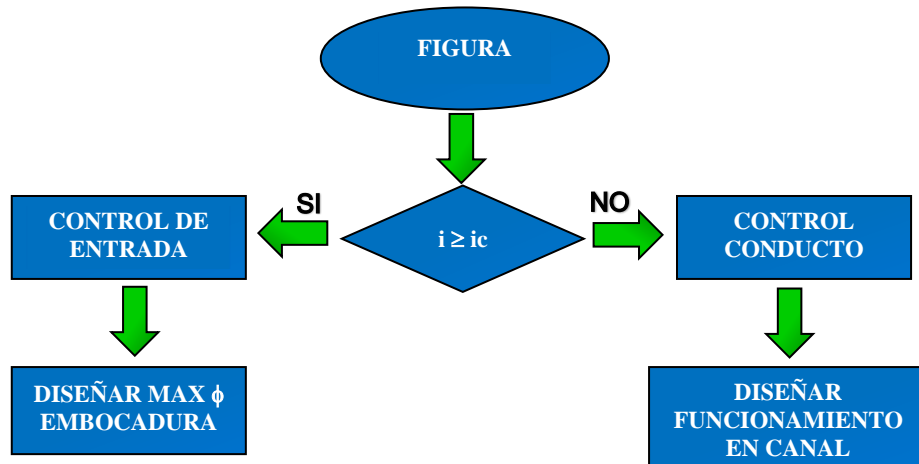
Si la alcantarilla tiene una pendiente tal que permite mantener la velocidad crítica, se cumple la igualdad de la ecuación siguiente, y el conducto permite escurrir todo el caudal que fluye por la entrada. En estas condiciones el escurrimiento ocurre con flujo crítico.

$$i_c = \frac{n^2 v_c^2}{R^{\frac{4}{3}}}$$

Siendo: i_c pendiente crítica en m/m.

v_c velocidad crítica en m/s.

Figura 2.51. Esquema de diagrama de flujo.

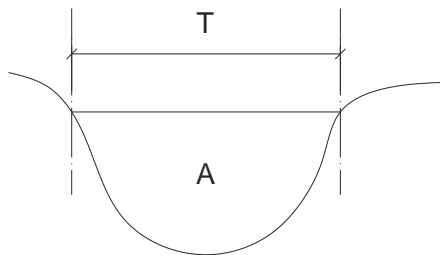


b) PENDIENTE Y TIRANTE CRÍTICOS

La determinación del tirante crítico tiene validez siempre que el escurrimiento dentro del conducto se verifique a superficie libre, es decir cuando el tirante crítico es inferior a la altura de la alcantarilla.

El cálculo del tirante crítico se realiza, mediante la fórmula clásica de escurrimiento en canales, para la condición de mínima energía específica para el caudal de diseño. Sea una sección cualquiera.

Figura 2.52. Área de escurrimiento en una sección genérica.



Para velocidad crítica:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T}$$

$$v_c = \frac{Q}{A}$$

$$i_c = \frac{n^2 v_c^2}{R^{\frac{4}{3}}}$$

Siendo: T ancho del espejo de agua en m.
 A sección de escurrimiento en m².
 Q máximo caudal de escurrimiento en m³/s.
 g aceleración de la gravedad en m/s².
 v_c velocidad crítica en m/s.
 i_c pendiente crítica en m/m.
 n coeficiente de rugosidad de Manning.
 R radio hidráulico en m.

La determinación del tirante crítico y la pendiente crítica para distintos tipos de secciones puede realizarse de acuerdo a los procedimientos que se describen a continuación. El método de cálculo para las secciones no rectangulares es el de aproximaciones sucesivas.

b.1) SECCIÓN RECTANGULAR

$$p = 2 Hc + L \quad A = L Hc \quad T = L$$

Siendo: p perímetro mojado en m.

$$Hc = \sqrt[3]{3 \frac{Q^2}{gL^2}} = 0,476 \left[\frac{Q}{L} \right]^{\frac{2}{3}}$$

b.2) SECCIÓN CIRCULAR

$$T = 2\sqrt{Hc(D - Hc)}$$

El área de escurrimiento y el perímetro mojado serán:

$$Hc \geq \frac{D}{2} \quad A = \frac{\pi D^2}{4} \left[1 - \frac{1}{180} \sin^{-1} \frac{T}{D} \right] = \frac{T}{2} \left[Hc - \frac{D}{2} \right]$$

$$p = \pi D \left[1 - \frac{1}{180} \sin^{-1} \frac{T}{D} \right]$$

$$Hc < \frac{D}{2} \quad A = \frac{\pi D^2}{720} \sin^{-1} \frac{T}{D} - \frac{T}{2} \left[\frac{D}{2} - Hc \right]$$

$$p = \frac{\pi D^2}{180} \sin^{-1} \frac{T}{D}$$

Para $H_c \geq D$ puede calcularse el tirante crítico con suficiente aproximación mediante la siguiente ecuación:

$$H_c = D \left[\frac{0,339Q}{D^{2,5}} \right]^{0,517}$$

c) COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

Pueden adoptarse los siguientes valores para el coeficiente de rugosidad de Manning:

- Alcantarilla de hormigón – sección rectangular:
 - Con platea $n = 0.014$
 - Sin platea, fondo tierra $n = 0.017$
 - Sin platea, fondo grava $n = 0.020$
- Alcantarilla de caño de grava: $n = 0,012$
- Alcantarilla de chapa ondulada cincada, según la siguiente tabla:

Tabla 2.11. Coeficientes de rugosidad de Manning para conductos de chapa ondulada cincada.

| ONDULACIÓN | 68 x 13 | 100 x 20 | 152 x 50 | | | |
|-----------------------|---------|----------|----------|-------|-------|-------|
| Diámetro | Todos | Todos | 1,500 | 2,000 | 3,000 | 4,500 |
| Chapa desnuda | 0,024 | 0,027 | 0,033 | 0,032 | 0,030 | 0,028 |
| 25% pavimentado fondo | 0,021 | 0,023 | 0,028 | 0,027 | 0,026 | 0,024 |
| Todo pavimentado | 0,012 | | | | | |

d) MÁXIMAS PENDIENTES CRÍTICAS

El valor de la pendiente de un conducto permite definir el comportamiento hidráulico de una alcantarilla. Si dicha pendiente es igual o mayor que la crítica, el conducto funciona con control de entrada y el cálculo de la sección debe responder a tal funcionamiento hidráulico. Caso contrario, si la pendiente del conducto es inferior a la crítica, el diseño deberá realizarse según el funcionamiento hidráulico de control de conducto.

Los valores consignados en la tabla permiten formular las siguientes observaciones:

- Diseñar alcantarillas de caños de hormigón con pendiente superiores a 0,5%, significa asegurar un escurrimiento con control de entrada.

- En secciones rectangulares de hormigón se incrementa notablemente la pendiente crítica en alcantarillas sin platea.

Tabla 2.12. Máximas pendientes críticas en alcantarillas funcionando sin presión (1).

| TIPO DE ALCANTARILLA | | | MÁXIMA PENDIENTE CRÍTICA (%) | | | | |
|--|-----------------|------------------------------------|------------------------------|------------|------|------|------|
| Chapa Ondulada Cincada | Ondulación (mm) | Tipo de Superficie del Interior | DIÁMETRO (m) | | | | |
| | | | 1,00 | 1,50 | 2,00 | 3,00 | 5,00 |
| | 68 x 13 | | 1,60 | 1,40 | 1,30 | - | - |
| | | | 1,20 | 1,10 | 1,00 | - | - |
| | 100 x 20 | | 2,00 | 1,80 | 1,60 | 1,40 | - |
| | | | 1,50 | 1,30 | 1,20 | 1,00 | - |
| | 152 X 50 | | - | 2,70 | 2,30 | 1,80 | 1,30 |
| | | | - | 1,90 | 1,60 | 1,30 | 0,90 |
| Caños de Hormigón | | | 0,50 | | | | |
| Rectangular de Hormigón con Platea (2) | | | LUZ (m) | ALTURA (m) | | | |
| | | | | 0,50 | 1,00 | 2,00 | 3,00 |
| | | | 1,00 | 0,50 | 0,70 | 0,90 | 1,20 |
| | | | 2,00 | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 0,60 |
| | | | 3,00 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,50 |

(1) Valores de pendiente crítica para $H = H_c$.

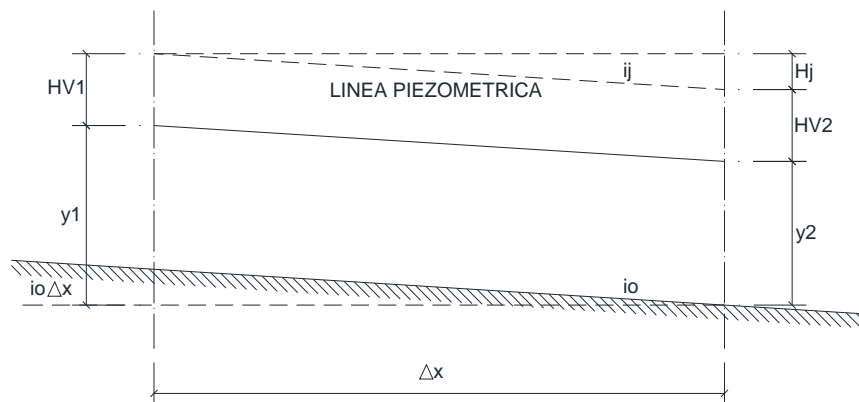
(2) Para alcantarillas sin platea multiplicar la pendiente crítica por fondo de tierra 1,5 y para fondo de grava 2,0.

e) RÉGIMEN GRADUALMENTE GRADUADO

En un tramo de canal el régimen hidráulico es gradualmente variado cuando la profundidad del escurrimiento varía paulatinamente a lo largo de dicho tramo.

Sea un tramo corto de canal, de longitud Δx , con régimen gradualmente variado.

Figura 2.53. Flujo gradualmente variado.



Aplicando Bernoulli:

$$I_o \Delta x + y_1 + H v_1 = y_2 + H v_2 + H_j$$

Siendo: i_o pendiente del conducto

$$H v_1 \quad \text{altura cinética en (1)} = v_1^2 / 2g = \frac{v_1^2}{2g}$$

$$H v_2 \quad \text{altura cinética en (2)} = v_2^2 / 2g = \frac{v_2^2}{2g}$$

$$H_j \quad \text{altura de pérdida en el conducto} = i_j \Delta x = i_j \Delta x$$

$$i_j \quad \text{pendiente pérdida} = n^2 v^2 / R^{4/3} = \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}}$$

v velocidad media entre (1) y (2)

Operando:

$$\Delta x = \frac{\left[y_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right] - \left[y_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right]}{i_o - i_j}$$

Si se denomina E a la energía específica $= y + \frac{v^2}{2g}$:

$$\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{i_o - i_j} = \frac{\Delta x}{i_o - i_j}$$

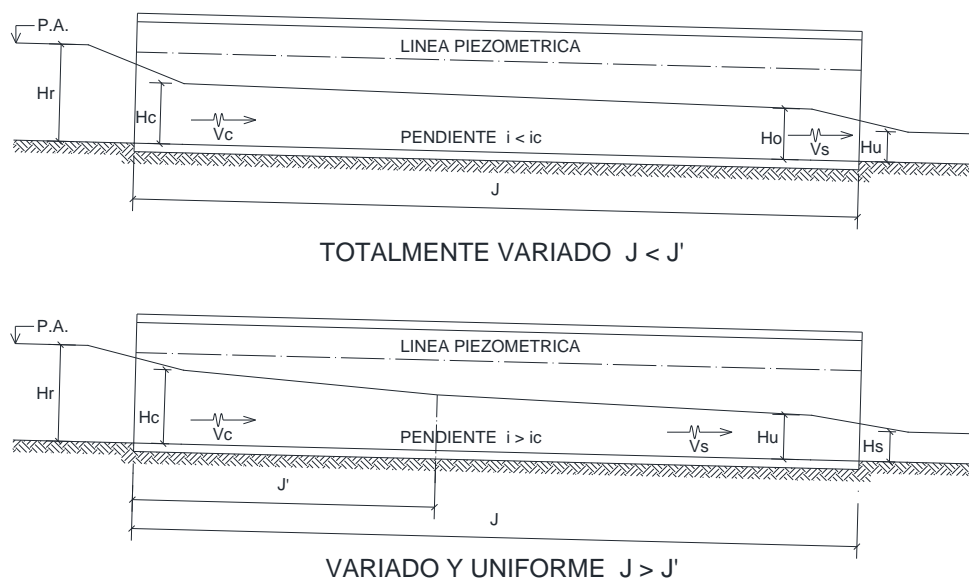
Para definir los tirantes entre los caudales debe realizarse la curva del perfil de flujo es necesario determinar el tipo de escurrimiento que se desarrollara para las condiciones dadas:

- Si la alcantarilla posee una pendiente inferior a la crítica, el flujo será subcrítico y el escurrimiento estará regulado por las condiciones aguas abajo del conducto.
- Si la alcantarilla posee una pendiente superior a la crítica se desarrollara un flujo supercrítico y el escurrimiento dependerá exclusivamente de las condiciones de la embocadura del conducto.

f) FLUJO SUPERCRITICO

En caso de la alcantarilla con pendiente superior a la crítica se tendrá un movimiento gradualmente acelerado, con un tramo de transición de longitud J' . Este tramo puede ser menor o mayor que la longitud J del conducto. De este modo se calcula la distancia J .

Figura 2.54. Esquema del perfil de flujo supercrítico.



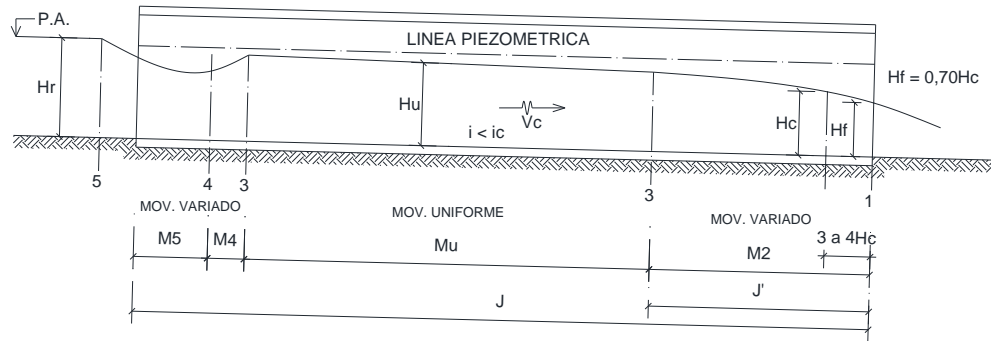
Si la longitud de transición J' es mayor que la del conducto, el movimiento es gradualmente variado en todo el conducto y la desembocadura se presenta un tirante H_o .

Si la longitud de transición J' es menor que la del conducto, dentro de la alcantarilla se presentara un primer tramo J' con movimiento gradualmente variado, continuando un régimen uniforme.

g) FLUJO SUBCRÍTICO

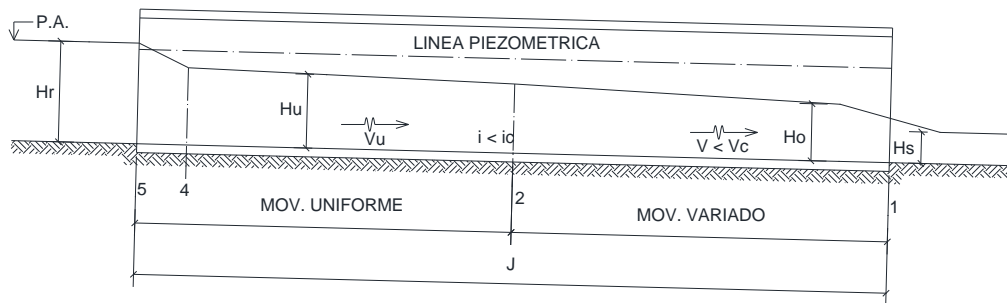
En estas condiciones el escurrimiento es regulado por el conducto desde el extremo aguas abajo del mismo, siempre manteniendo la hipótesis de que las condiciones hidráulicas a la salida de la alcantarilla no intervienen en la regulación del caudal. El perfil de flujo responde a la descripción a la siguiente figura:

Figura 2.55. Perfil de flujo subcrítico.



En resumen, el esquema del perfil de flujo empleado en el cálculo puede ser representado de la forma indicada en la siguiente figura:

Figura 2.56. Esquema del perfil de flujo subcrítico.



2.18.3 ESCURRIMIENTO CON SALIDA SUMERGIDA

a) ANÁLISIS CONCEPTUAL

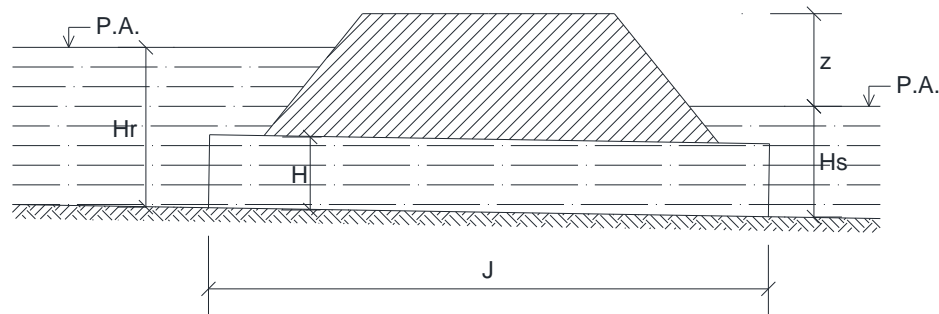
Si el escurrimiento en la desembocadura de la alcantarilla se encuentra represado, se dice que se trata de condiciones con salida sumergida o ahogada.

La inundación a la salida de la alcantarilla no es un suceso provocado por la estructura sino que es causado por obstrucciones naturales o artificiales aguas abajo o por anegamiento debido a la deficiente pendiente del cauce natural. Se presentan dos tipos característicos de escurrimiento con salida ahogada: salida totalmente sumergida y salida parcialmente sumergida.

b) SALIDA TOTALMENTE SUMERGIDA

No es un caso que se presente usualmente en la práctica ya que para lograr una aceptable eficiencia hidráulica es necesario un desnivel excesivo, desde el punto de vista de una obra vial, entre la cota de inundación y la cota de remanso aguas arriba del conducto. Además es evidente que tal cota de remanso provocara extensas áreas totalmente anegadas.

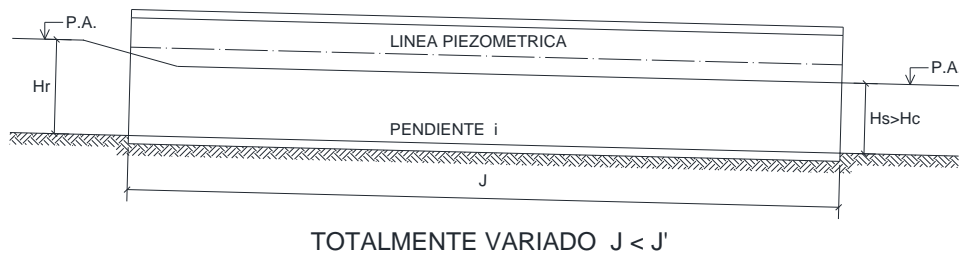
Figura 2.57. Salida totalmente sumergida.



c) SALIDA PARCIALMENTE SUMERGIDA

Este caso se presenta cuando la profundidad a la salida es superior al tirante crítico e inferior a la altura del conducto.

Figura 2.58. Salida parcialmente sumergida.



El procedimiento para la determinación de la altura de remanso a la entrada del conducto es el movimiento gradualmente variado, realizando el cálculo por el método de pasos a partir de la desembocadura, con el valor de la profundidad del agua a la salida del conducto H_s y desarrollado para la longitud total J de la alcantarilla.

2.18.4 ESCURRIMIENTO CON VELOCIDAD SIGNIFICATIVA

Si la velocidad del escurrimiento en el cauce antes de entrar en el conducto es apreciable, la altura cinética de velocidad antes de la embocadura debe ser tomada en cuenta, adicionándose a la altura de remanso H_r .

En este caso se obtiene una altura de remanso de cálculo H_r' que es la que se emplea en las expresiones correspondientes:

$$H_r' = H_r + \frac{v_1^2}{2g}$$

Siendo: v_1 la velocidad de escurrimiento antes del estrechamiento provocado por la alcantarilla en m/s.

La verificación de la velocidad a la salida del conducto debe realizarse mediante el valor de carga H_r' .

2.18.5 CONTROL DE VELOCIDAD DE ESCURRIMIENTO

a) VELOCIDAD DE ESCURRIMIENTO

Toda alcantarilla incrementa la velocidad de escurrimiento del agua respecto a la del cauce natural. El diseño de una sección de alcantarilla debe realizarse de manera que la velocidad de escurrimiento no provoque procesos erosivos, ya sea dentro del conducto como a la salida del mismo.

La construcción de plateas dentro del conducto y de plateas adicionales entre los muros de ala son soluciones que permiten el uso de mayores velocidades admisibles de escurrimiento.

El mejor comportamiento hidráulico en la desembocadura de una alcantarilla con salida libre se produce cuando los muros de ala tienen en ángulo comprendido entre 30° y 45°. Ángulos menores provocan mayor anegamiento a la salida.

El escurrimiento a la salida de la alcantarilla, si bien provoca un resalto que consume energía, incrementa la velocidad del agua. La velocidad máxima se produce a una distancia aproximadamente igual al doble de la profundidad del agua a la salida y excede la velocidad en el interior de la alcantarilla en los siguientes valores:

| | |
|------------------------|-----------|
| Extremos prolongados | 1,3 veces |
| Muros de ala 30° - 45° | 1,2 veces |

b) VELOCIDAD ADMISIBLE

Se denomina velocidad admisible a la máxima velocidad media de un escurrimiento que no provoca erosión en el cauce. La velocidad admisible de un escurrimiento es

función de la profundidad del tirante de agua y del tipo de material que forma el cauce.

El investigador ruso Dadenkov establece la velocidad admisible de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_a = \alpha \sqrt[3]{h}$$

Siendo: V_a velocidad admisible en m/s.
 α coeficiente función del material del cauce.
 h profundidad media del cauce en m.

En la tabla siguiente se consignan rangos de velocidades admisibles para distintos materiales y profundidades del cauce de 0,40m y 1,00m, el valor de la velocidad admisible correspondiente a la profundidad de 1,00m responde al coeficiente α .

Tabla 2.13. Velocidad admisible según Dadenkov.

| TIPO DE MATERIAL | | VELOCIDAD ADMISIBLE (m/s) | |
|-----------------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| | | h = 0,40m | h = 1,00m |
| SUELOS FRIABLES | LIMO | 0,15 – 0,25 | 0,25 – 0,35 |
| | ARENA (< 2,5 mm) | 0,35 – 0,55 | 0,50 – 0,75 |
| | GRAVA (< 15 mm) | 0,70 – 0,90 | 0,90 – 1,20 |
| | RIPIO | 1,00 – 1,50 | 1,35 – 1,90 |
| SUELOS COHESIVOS | SUELO ARCILLOSO | 0,60 – 0,70 | 0,80 – 0,90 |
| | ARCILLA ARENOSA | 0,80 – 0,95 | 1,00 – 1,20 |
| | SUELO COMPACTO | 1,50 | 1,80 |
| ROCAS | MARGA | 1,60 | 2,20 |
| | TOSCA | 2,20 | 3,00 |
| | CALIZA – PIZARRA | 3,30 | 4,50 |
| | ROCA ÍGNEA | 5,15 | 7,00 |
| LECHO REVESTIDO DE HORMIGÓN | | 4,80 – 6,30 | 6,00 – 8,00 |

c) CÁLCULO DE VELOCIDAD DE ESCURRIMIENTO

La verificación de la velocidad de escurrimiento se realiza en la desembocadura de la alcantarilla calculando el área de la sección mojada de acuerdo a la profundidad real del escurrimiento. Tal profundidad depende de las características del flujo y responde al siguiente detalle:

c.1) CONDUCTOS CON SALIDA LIBRE

- Flujo crítico y subcrítico: corresponde al tirante crítico aplicado desde el fondo del conducto.
- Flujo supercrítico: se calcula el tirante de acuerdo al funcionamiento hidráulico de canales.

c.2) CONDUCTOS CON SALIDA SUMERGIDA

- Totalmente sumergida: corresponde a la altura del conducto.
- Parcialmente sumergida: corresponde aplicar la altura a la salida H_s .

Determinada la sección A de escurrimiento la expresión de la velocidad será:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Siendo: v velocidad a la salida del conducto en m/s.
 Q caudal de diseño en m³/s.
 A área de escurrimiento en m².

2.18.6 FUNCIONAMIENTOS HIDRÁULICOS FRECUENTES EN ALCANTARILLAS

De lo tratado en los títulos anteriores puede expresarse que, de acuerdo a las condiciones en que se efectúe el escurrimiento de caudales dentro de las alcantarillas, los funcionamientos hidráulicos más comunes que se presentan en este tipo de estructura vial responden al siguiente resumen:

- **Salida libre $H_s \leq H_c$:**

Escurrimiento con control de entrada, flujo crítico y supercrítico $i \geq i_c$.

Sin presión $H_r \leq H$.

Con presión $H_r > H$. El conducto funciona parcialmente lleno.

Escurrimiento con control de conducto, flujo subcrítico $i < i_c$.

Sin presión $H_r \leq H$.

Con presión $H_r > H$. El conducto funciona parcialmente o totalmente lleno de acuerdo a las características de flujo.

- **Salida sumergida $H_s > H_c$:**

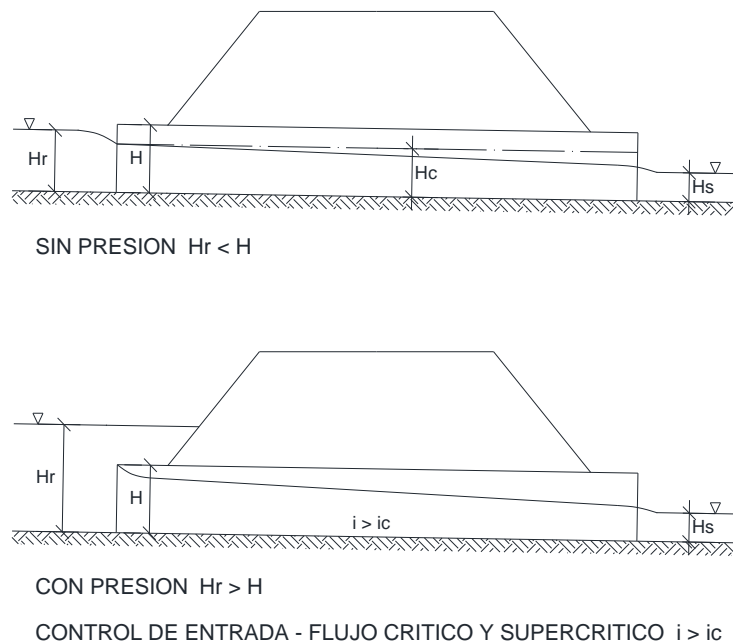
Totalmente sumergida $H_r > H$, $H_s > H$.

Parcialmente sumergida:

Con presión $H_r > H$, $H > H_s > H_c$.

Sin presión $H_r > H$, $H > H_s > H_c$.

Figura 2.58. Esguerrimiento en alcantarillas con salida libre.



2.18.7 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS

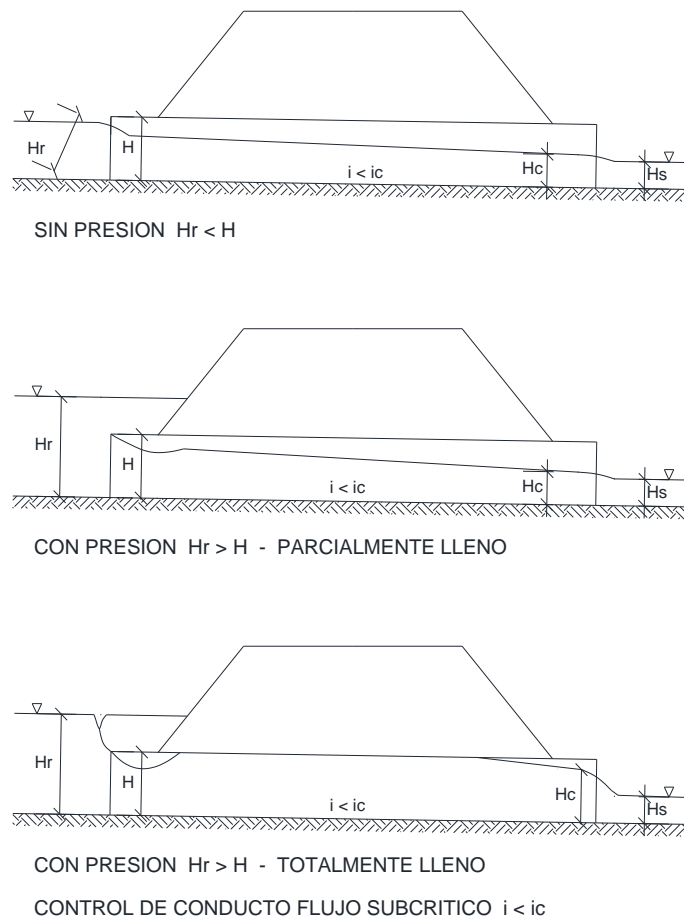
Para un correcto diseño de alcantarillas deben tenerse presentes los siguientes criterios básicos.

- Proyectar en lo posible, alcantarillas que funcionen con control de entrada.
- Verificar que la velocidad de esguerrimiento en el interior del conducto e inmediatamente aguas abajo del mismo sea inferior a la admisible.
- Prever defensas para controlar la erosión aguas abajo del conducto en caso de elevados caudales y fuertes velocidades de esguerrimiento.
- En zonas con suelos erosivos debe realizarse un relevamiento aguas abajo del emplazamiento de la obra, en una longitud no menor de trescientos metros, con el

objeto de detectar posibles erosiones retrogradantes del cauce. En caso de constatarlas diseñar las obras necesarias para su control.

- No dimensionar secciones con medidas lineales inferiores a 1,00m.
- Proyectar secciones circulares para reducidos caudales de escurrimiento y secciones rectangulares para elevados caudales.

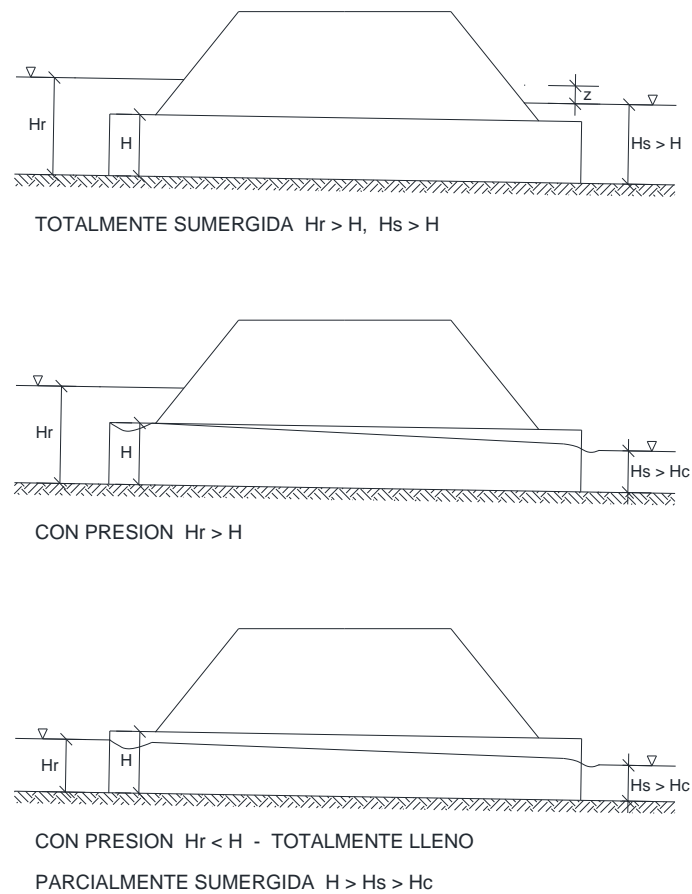
Figura 2.59. Escurrimiento en alcantarillas con salida libre.



- No diseñar luces múltiples en zonas con pronunciados esviajes, fuertes pendientes transversales y/o escurrimientos con arrastres de materiales sólidos.
- Prever en zonas de montaña secciones de alcantarillas compatibles con los arrastres de piedras y arbustos que traen los caudales de derrame.
- Proyectar en lo posible conductos con muros de ala con ángulos entre 30° y 45° con respecto al eje longitudinal del conducto.

- En cauces con apreciables pendientes transversales o con elevados caudales de escurrimiento diseñar siempre alcantarillas con muros de cabecera.

Figura 2.60. *Escurrecimiento en alcantarillas con salida sumergida.*



- Los conductos construidos con elementos prefabricados (caños de hormigón, caños de chapa ondulada cincada) no deben funcionar con presión y la altura de remanso no debe ser muy alta, ya que las uniones de estos elementos no son herméticas y es perjudicial la fuga de agua por dichas juntas.
- Es deseable que ningún conducto funcione con presión.

- No diseñar con relaciones altura de remanso/altura de la alcantarilla superiores a 1,2.
- La altura de remanso no debe ser superior al muro de cabecera, o al conducto en caso de extremos prolongados.
- Prever acumulación de caudales aguas arriba de la alcantarilla elevando la altura de remanso en cuencas de derrame inferiores a 5.000 hectáreas.
- Determinar la altura de remanso de acuerdo a las condiciones de los terrenos adyacentes aguas arriba del conducto, la altura de los terraplenes y el tipo de alcantarilla. Determinar el área de inundación a los efectos de verificar los posibles daños a producirse.
- Es deseable que la cota rasante sea mayor a un metro por sobre la cota de pelo de agua a la entrada del conducto.
- El ángulo de cruce con cursos de agua permanente no debe ser alterado, diseñando el conducto por el esviaje existente.
- En lo posible no modificar el esviaje del conducto respecto al del cauce en laderas con pendientes apreciables, grandes caudales, y/o escurrimientos con arrastre de materiales sólidos. En caso de variar el esviaje diseñar defensas complementarias adecuadas.
- En topografías con apreciables pendientes transversales la cota de desagüe debe coincidir con la del terreno natural.
- En suelos arenosos y limosos, con fuertes pendientes y elevados caudales de escurrimiento, el fondo del cauce puede ser notablemente erosionado (descenso de la cota del terreno del orden de 0,50 a 1,00 metro) por grandes avenidas de agua. Este lecho, por sucesivos embancamientos, recupera posteriormente su nivel original. Prever en estas situaciones el control de la erosión de las fundaciones.
- En zonas llanas puede enterrarse la cota de desagüe siempre que se logre el diseño de canales evacuadores con pendientes adecuadas.
- En suelos erosivos proyectar muros de cabecera y plateas.
- No fundar alcantarillas sobre terrenos de relleno.
- Verificar en todos los casos que la tensión del suelo de fundación sea igual o superior a la prevista en el diseño de las alcantarillas.

- Control de erosión del medio.

2.18.8 PROYECTO DE ALCANTARILLAS

El proyecto de alcantarillas de una obra vial debe ser realizado mediante un minucioso procedimiento que contemple el total de los parámetros que definen el correcto funcionamiento hidráulico de las estructuras. Puede estructurarse una metodología racional de acuerdo a las siguientes etapas:

- Relevamiento de campo.
- Evaluación hidrológica.
- Ubicación planialtimétrica del conducto.
- Diseño de la alcantarilla.
- Verificación de campo.

2.18.8.1 RELEVAMIENTO DE CAMPO

Consisten en la realización de todas las tareas necesarias para obtener de cada alcantarilla la siguiente información:

a) Topografía

- Planimetría del cauce.
- Perfil longitudinal del cauce.
- Perfiles transversales del cauce.
- Planialtimetría de curvas de nivel.
- Delimitación de las cuencas de aporte mediante relevamiento expeditivo en caso de no existir material cartográfico adecuado a tal efecto.

b) Hidrología

- Datos meteorológicos.
- Características de las cuencas de derrame.
- Datos del comportamiento hidrológico del cauce (según vestigios y/o información de pobladores o personal de conservación vial), cotas máximas de estiaje del escurrimiento, aguas permanentes, procesos erosivos detectados, arrastres, etc.

c) Geotécnica

- Tensión admisible del suelo de fundación.
- Tipo de suelo del cauce.

2.18.8.2 EVALUACIÓN HIDROLÓGICA

Con la información meteorológica, el área, pendiente de la cuenca (obtenida mediante material cartográfico adecuado o relevamiento en campo) y las características hidrológicas de la cuenca; se calculan los caudales máximos de escurrimiento para el tiempo de recurrencia de diseño.

A tal fin debe verificarse el método de caudales a emplear mediante una evaluación del comportamiento hidráulico de alcantarillas existentes y en funcionamiento ubicada dentro de la zona de estudio.

2.18.8.3 UBICACIÓN PLANALTIMÉTRICA DEL CONDUCTO

Mediante una carta topográfica con curvas de nivel, el perfil longitudinal del cauce, el tipo de suelo de fondo, la cota de socavación prevista, las condiciones emergentes del proyecto de la obra básica; se predefine la ubicación planialtimétrica de la alcantarilla (progresiva, cota de desagüe, fundación en el eje, esviaje y pendiente). Este emplazamiento previo podrá ser reajustado de acuerdo al tipo de obra de arte adoptada y las condiciones que surjan del cálculo hidráulico.

2.18.8.4 DISEÑO DE ALCANTARILLA

El diseño de la sección de la alcantarilla debe realizarse mediante una metodología adecuada, ya que su cálculo debe responder al real funcionamiento del escurrimiento de las aguas.

El desarrollo del procedimiento puede hacerse de acuerdo al esquema del diagrama de flujo. Se define en una primera instancia una profundidad del remanso a la entrada del conducto aceptable para las condiciones del máximo escurrimiento previsto.

Con los datos básicos (caudal de diseño, pendiente del conducto y altura de remanso admisible) se predimensiona la sección de la alcantarilla para escurrimiento con

control de entrada, adoptando el plano tipo de alcantarilla que mejor se adapte a las condiciones emergentes.

Se calcula la pendiente crítica (i_c) y la altura crítica (H_c), se plantea la sentencia: la pendiente del conducto es igual o mayor que la crítica ($i \geq i_c$).

Si la sentencia es positiva el flujo será crítico o supercrítico, corresponde plantear si la altura a la salida es menor o igual a la altura crítica ($H_s \leq H_c$). Si ello ocurre la salida será libre y el escurrimiento con control de entrada, dando por correcto el predimensionamiento efectuado o redimensionando si con ello se pueden mejorar las condiciones de escurrimiento. El próximo paso es calcular la velocidad a la salida del conducto (la cual deberá determinarse de acuerdo al tipo de flujo: crítico o supercrítico) y comparada con la velocidad admisible. Si es igual o menor ($v_s \leq v_{adm}$) se presentaran procesos erosivos y deben diseñarse obras que controlen la erosión. En caso de no ser conveniente tal medida debe redimensionarse la sección y recomenzar el procedimiento para diseño.

Si la primera sentencia es negativa ($i < i_c$) el flujo será subcrítico, entonces corresponde plantear $H_s \leq H_c$. Si la respuesta es afirmativa la salida será libre y el escurrimiento con control de conducto; calculándose la altura de remanso a la entrada de acuerdo al funcionamiento gradualmente variado en canal. Si el valor resultante es menor o igual que el máximo permisible ($H_r \leq H_{r \max}$) el cálculo es correcto, caso contrario deberá redimensionarse la sección. Se calcula la velocidad a la salida y se verifica que sea menor o igual que la admisible ($v_s \leq v_{adm}$). Si se cumple, el diseño es correcto y finaliza el cálculo. Si no se cumple deben diseñarse obras para el control de la erosión; si no es conveniente su diseño se redimensiona la sección y se recomienza el procedimiento de cálculo.

2.18.8.5 VERIFICACIÓN EN CAMPO

Una vez realizado el proyecto de las alcantarillas con todas las obras complementarias necesarias (zanjas evacuadoras, defensas contra la erosión, zanjales de guardia, etc.), se debe realizar una inspección de las zonas de emplazamiento de las obras, verificar en campo la corrección del proyecto y la factibilidad de su construcción.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LAS ALCANTARILLAS DEL TRAMO “PUENTE UNIÓN EUROPEA - CARACHIMAYO”

3.1 INVENTARIO DE ALCANTARILLAS

El inventario de alcantarillas es una actividad que implica: la continua recopilación, levantamiento, actualización de datos destinado detectar las condiciones y deficiencias, tanto del comportamiento estructural como el funcionamiento hidráulico de las alcantarillas que integran un sistema vial.

Un inventario de alcantarillas realizado mediante una correcta metodología, debidamente actualizado, con una adecuada informática, permite la confección de un banco de datos, elemento básico para una sistemática optimización de la tecnología del diseño (normas vigentes), el proyecto, la construcción y la conservación de este tipo de obras.

Es así que un adecuado banco de datos permite el logro de los siguientes objetivos:

- Estructuración de un plan de conservación, mejoras de acuerdo a un orden de prioridades emergentes del estado de las estructuras y de las condiciones de su funcionamiento hidráulico.
- Análisis de las fallas, defectos, daños, deterioros, averías, etc.; que sufren las estructuras y que les provocan un funcionamiento deficiente, una vida útil por debajo de la prevista o un colapso prematuro.

Los problemas que afectan a las estructuras pueden tener origen en las distintas etapas del diseño, la construcción y el funcionamiento de la obra, estas son:

- **Problemas originados en la tecnología del diseño:** se deben al empleo de técnicas incorrectas para el diseño hidráulico de las secciones, a la disponibilidad de planos tipo inadecuados o que no cubren las necesidades de una determinada zona.
- **Problemas originados en el proyecto de la alcantarilla:** se deben a errores en el diseño de la sección hidráulica del conducto, uso no adecuado de los planos tipo, incorrecta ubicación planialtimétrica de la estructura, errónea estimación de

las condiciones del suelo de fundación, inadecuada previsión en cuanto a los materiales disponibles, estimación inexactas en el funcionamiento hidráulico (erosiones y embanques), falta de recaudos para el control de la abrasión y de la corrosión.

- **Problemas originados en la construcción de la obra:** en general responden al empleo de deficientes técnicas constructivas, mano de obra inexperta, materiales de baja calidad, errores en el replanteo, mala interpretación de los planos de proyecto, maltrato durante el transporte de los materiales en el caso de las alcantarillas prefabricadas, sobrecarga con equipos de obra cuando los conductos no tienen tapada suficiente, inadecuado control de calidad de la obra, etc.
- **Problemas originados en el funcionamiento:** usualmente se deben a procesos erosivos y de embanque, asentamientos en el plano de la fundación, abrasión y corrosión de los materiales, obras construidas posteriormente a la construcción del camino dentro y fuera de su zona que modifiquen el escurrimiento de las aguas, roturas por accidentes, etc.

El análisis de los problemas que afectan a las estructuras permite el logro de dos propósitos básicos:

- Reducir o eliminar problemas en las nuevas obras, modificando la tecnología del diseño, alertando a los proyectistas de los errores de proyecto más usuales y perfeccionando las especificaciones técnicas de manera de mejorar las exigencias constructivas.
- Elaborar técnicas genéricas adecuadas para la reparación y refacción de las estructuras afectadas.

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 COMISIÓN DE ESTUDIO

Las tareas de relevamiento de campo serán realizadas por comisiones de estudio que estarán dirigidas por un Director de proyecto. Las comisiones de estudio se integraran por: Jefe de comisión, Operador técnico, Ayudante y Chofer.

- El Jefe de comisión tiene a su cargo las tareas de relevamiento, realización de croquis, análisis de fallas y confección de los informes pertinentes.
- El Operador técnico tiene a su cargo las operaciones topográficas, mediciones de la estructura y colabora con el Jefe de comisión en la detección de los problemas que presentan las obras de arte.
- Las comisiones de estudio deberán estar en permanente contacto con los jefes de zona, de manera de recalcar toda la información posible respecto al estado y funcionamiento de las alcantarillas ubicadas en el área de su dependencia.

3.2.2 ANTECEDENTES PREVIOS

Previamente a la salida al campo la comisión deberá recabar todos los antecedentes relativos a las alcantarillas ubicadas en el circuito a estudiar.

Entre otros, deberá obtenerse el siguiente material de información:

- Planos conforme a obra o en su defecto plano del proyecto con el cual fue construida la ruta existente.
- Estudio hidráulico de alcantarillas y planos tipo empleados en las obras construidas.
- Proyecto de nuevas obras a construir (incluido el estudio hidráulico y los planos tipo alcantarilla previstos) en aquellos casos de reconstrucción de rutas.
- Proyectos de trabajos de conservación o mejoras de obras de arte.
- Informes de conservación referente a comportamiento de estructuras y modificaciones propuestas.
- Relevamiento del inventario vial.

3.2.3 MÉTODO DE TRABAJO

A los efectos de sistematizar el trabajo de campo y lograr una máxima eficiencia se prevé la realización del relevamiento en dos etapas operativas:

- La primera de gabinete, es previa a la salida a campo y consiste en la recopilación de todos los datos existentes.
- La segunda estriba en el relevamiento en campo de todos los elementos que se consideran necesarios para el correcto cumplimiento de los objetivos de estudio.

a) GABINETE PREVIO**a.1) Hoja N°..../..../....**

En el primer espacio numerar en forma consecutiva las hojas que se emplean en cada ruta.

Al terminar el relevamiento de dicha ruta consignar en el segundo espacio en cada hoja el número total de hojas de rutas utilizadas. Comenzar una serie nueva de números para cada ruta.

a.2) Provincia

Consignar el nombre de la provincia donde se desarrolla el tramo a relevar.

a.3) Ruta

Indicar el número o letra de la ruta a relevar. Código (Fundamental, Departamental, Municipal)

a.4) Tramo

Consignar el nombre del tramo. Cada tramo se ubica de acuerdo a orden creciente de kilómetro de ruta.

a.5) Sección

Consignar en caso de subdivisión del tramo. Ubicar de acuerdo a orden creciente de progresivas.

a.6) Monografías

Se realizara un croquis con la ubicación del origen del tramo o la sección. Tomar la lectura del odómetro de la movilidad en el comienzo del tramo o sección.

a.7) Obra de Arte N°

Se consignara un número correlativo para cada alcantarilla, de acuerdo al orden creciente de progresivas.

Los datos serán extraídos del inventario vial y controlados mediante los planos conforme a obra (o del proyecto ejecutado en caso de no haberse realizado los planos conforme a obra). Reservar cinco espacios en blanco al final de cada hoja por si se encuentran en campo obras que no figuren en los antecedentes.

a.8) Progresivas Inventario

Indicar la progresiva de la obra de arte según el inventario vial.

a.9) Código

Consignar el código del tipo de obra de arte, que responde al siguiente detalle:

- 01 Alcantarillas de sección rectangular (estribos y losa de independientes).
- 02 Alcantarillas aporticadas de hormigón armado.
- 03 Alcantarillas de caños de hormigón.
- 04 Alcantarillas de caños, caños abovedados, chapas onduladas cincadas.
- 05 Alcantarillas bóvedas.
- 06 Badenes.

a.10) Plano Tipo

Indicar el número de plano tipo de la obra de arte según conste en los planos conforme a obra, o en los planos de proyecto ejecutado. Cuando no exista esta información se completara solamente cuando en campo se pueda identificar la obra con un determinado plano tipo.

b) RELEVAMIENTO DE CAMPO**b.1) Fecha**

Registrar día, mes y año en que se realiza el relevamiento.

b.2) Lectura Odómetro

Indicar la lectura del odómetro de la movilidad correspondiente a cada obra de arte.

b.3) Calificación Hidráulica y Estructural

Consignar la calificación hidráulica y estructural que haya merecido la obra de arte según consta en la planilla de Relevamiento.

b.4) Observaciones

Consignar las observaciones que se crean necesarias, por ejemplo: destruida, tapada, canal, nombre del curso en caso de que lo posea.

3.2.5 PLANILLAS DE RELEVAMIENTO

Las planillas de relevamiento han sido diseñadas de manera de ordenar el procedimiento de recopilación de antecedentes e información previa, las tareas de relevamiento de campo y sistematizar el tratamiento de la información.

Figura 3.2. Planilla de Relevamiento.

| PLANILLA DE RELEVAMIENTO | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| RELEVAMIENTO TOPOGRÁFICO | IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA DE ARTE |
| | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS |
| CONDICIONES HIDRÁULICAS | CONDICIONES ESTRUCTURALES |
| INFORME | |

Se han confeccionado seis planillas con las que se estima cubrir la mayor parte de las obras de arte existentes en la red vial. En caso de presentarse algún tipo no previsto se adoptara la planilla que más se adapte a la obra en cuestión.

Las planillas de referencia responden al detalle de los códigos descritos precedentemente. Genéricamente una planilla de relevamiento está estructurada como se indica en el esquema anterior. Cada planilla será llenada de la siguiente manera:

a) Identificación de la obra de arte

Esta tarea se realizara en gabinete, previo a la salida de campo salvo fotografía. Se tomaran fotografías en toda obra que presente características dignas de mención. En caso positivo consignar el número de fotografías; en caso negativo consignar NO. En la fotografía deberá aparecer la identificación de la obra consignando ruta, tramo y progresiva (puede ser por medio de una pizarra).

b) Relevamiento Topográfico

Se relevaran todos los puntos necesarios para poder determinar la tapada y la pendiente del fondo de la alcantarilla y definir planialtimetricamente el cauce del escurrimiento. El área de relevamiento será tal que cubra cualquier elemento u obra que pueda afectar el escurrimiento del conducto.

c) Características Físicas

Como tarea de gabinete previa se deberán consignar los datos de la obra de arte en la columna correspondiente, de acuerdo a los planos conforme a obra. En caso de no disponerse de planos conforme a obra consignar los datos del proyecto con que fue construido el camino. En caso de que exista un proyecto para reconstrucción del tramo consignar los datos en la columna correspondiente.

c.1) Características Físicas Alcantarilla 01

Referencias:

1. Indicar el código correspondiente a la embocadura, de acuerdo al siguiente cuadro:

Figura 3.3. Tipo de Embocadura.

| CÓDIGO | TIPO DE EMBOCADURA |
|--------|----------------------|
| 1 | MUROS DE ALA |
| 2 | MUROS DE VUELTA |
| 3 | EXTREMOS PROLONGADOS |

A lado del código del tipo de embocadura se admite colocar un código del material con el cual se han construido los muros, de acuerdo al siguiente cuadro:

Figura 3.4. Materiales.

| CÓDIGO | MATERIALES |
|--------|--------------------|
| b | HORMIGÓN |
| M | MAMPOSTERÍA |
| D | MADERA |
| P | PIEDRA CON MORTERO |
| S | PIEDRA EN SECO |
| L | SILLERÍA DE PIEDRA |

2. Indicar el código del material con que está construida la losa, de acuerdo al cuadro anterior.
3. Indicar el código del material con que están contruidos los estudios, de acuerdo al cuadro anterior.
4. Indicar el código platea o no. También se admite indicar el tipo de material según el cuadro de la referencia 1.
5. Indicar el ángulo de esviaje del eje de la alcanatrilla con respecto al eje de la carretera.
6. Indicar el número de luces n (1, 2, 3, etc.)
7. Indicar la luz simple L en m.
8. Indicar la altura H en m.
9. Indicar la longitud J del conducto en m.
10. El valor de tapada surgirá del relevamiento topográfico. Se complementara en gabinete.
11. El valor de la pendiente surgirá del relevamiento topográfico. Se complementara en gabinete.
12. Indicar el número de plano tipo.

Características Físicas Alcantarilla 02

Referencias:

1. Indicar si tiene platea o no según corresponda.
2. Ídem alcantarilla 01.
3. Indicar el número de luces n (1, 2, 3, etc.).
4. Indicar la luz simple L en m.
5. Indicar la altura H en m.
6. Indicar el ancho de calzada de la obra de arte en m.
7. Indicar si tiene vereda o no.
8. Indicar si tiene guardarruedas o no.
9. Indicar la altura de la baranda en m.
10. El valor de la pendiente surgirá del relevamiento topográfico. Se complementara en gabinete.
11. Indicar si tiene taludes revestidos o no.
12. Indicar el número de plano tipo.

Características Físicas Alcantarilla 03

Referencias:

1. Ídem 1 alcantarillas 01.
2. Indicar si tiene platea o no. También se admite indicar el tipo de material según el cuadro de la referencia 1 alcantarilla 01.
3. Indicar si los caños son armados o no. Dejar en blanco si no se puede determinar.
4. Indicar si los caños poseen caja o no.
5. Indicar si los caños están fundados sobre una base de hormigón o no. Dejar en blanco si no se puede determinar.
6. Ídem 5 alcantarilla 01.
7. Indicar el número de caños n (1, 2, 3, etc.).
8. Indicar el diámetro interior D (interior) en m.
9. Indicar la longitud J del conducto en m.
10. El valor de la tapada surgirá del relevamiento topográfico. Se complementara en gabinete.

11. El valor de la pendiente surgirá del relevamiento topográfico. Se complementara en gabinete.

12. Indicar el número del plano tipo.

Características Físicas Alcantarilla 04

Referencias:

1. Ídem 1 alcantarillas 01.
2. Indicar si tiene platea o no. También se admite indicar el tipo de material según el cuadro de la referencia 1 alcantarilla 01.
3. Ídem 5 alcantarilla 01.
4. Indicar el número de caños n (1, 2, 3, etc.).
5. Indicar el diámetro D en m en el caso de caños, la luz L en m en el caso de caños abovedados.
6. Indicar la flecha F en m, en el caso de caños abovedados.
7. Indicar el número de caños n (1, 2, 3, etc.).
8. Indicar el espesor de la chapa en mm.
9. Indicar la longitud J del conducto en m.
10. El valor de la tapada surgirá del relevamiento topográfico. Se complementara en gabinete.
11. Indicar el número del plano tipo.

Características Físicas Alcantarilla 05

Referencias:

1. Ídem 1 alcantarillas 01.
2. Indicar el código del material con que está construida la bóveda, de acuerdo a la figura 3.5:
3. Indicar el código del material con que está construida los estribos, de acuerdo cuadro anterior.
4. Indicar si tiene platea o no. También se admite indicar el tipo de material según el cuadro de la referencia 2.
5. Ídem 5 alcantarilla 01.

Figura 3.5. Materiales.

| CÓDIGO | MATERIALES |
|--------|--------------------|
| b | HORMIGÓN |
| M | MAMPOSTERÍA |
| D | MADERA |
| C | CHAPAS ONDULADAS |
| P | PIEDRA CON MORTERO |
| S | PIEDRA EN SECO |
| L | SILLERÍA DE PIEDRA |

6. Indicar el número de luces n (1, 2, 3, etc.).
7. Indicar la luz simple L en m.
8. Indicar la altura H y la flecha F en m.
9. Indicar la longitud J del conducto en m.
10. El valor de la tapada surgirá del relevamiento topográfico. Se complementara en gabinete.
11. Indicar el número del plano tipo.

Características Físicas Badenes 06

Referencias:

1. Indicar si tiene armadura o no. Dejar en blanco si no se puede determinar.
2. Indicar si tiene juntas o no.
3. Indicar si tiene dientes o no.
4. Indicar si tiene batea o no.
5. Indicar si tiene defensa de gaviones o no.
6. Indicar el número de plano tipo.
7. Consignar las medidas y sentido del escurrimiento.

3.3 CONDICIONES HIDRÁULICAS

En el cuadro correspondiente se consignaran todos los datos de campo que permiten evaluar el comportamiento hidráulico de las alcantarillas. Además se asignara, desde el punto de vista hidráulico, una calificación que valore el estado de la alcantarilla en el momento del relevamiento.

La calificación hidráulica se verificara para dos condiciones: alcantarillas erosionadas (1R a 4R) y alcantarillas embancadas (1B a 4B), reservación producto de un correcto funcionamiento hidráulico.

La calificación se efectuara de acuerdo a lo establecido en el digesto correspondiente.

Condiciones Hidráulicas Alcantarillas 01, 02, 03, 04, 05

Referencias:

1. Indicar si el curso es permanente o no. Indicar el nombre del curso si lo posee. En el caso de canales indicar canal.
2. Indicar el ángulo de esviaje del curso respecto de la alcantarilla.
3. Se tomara la cota máxima de inundación aguas arriba y aguas abajo cuando lo permitan los vestigios dejados por crecientes máximas o según informaciones recabadas.
4. Indicar la profundidad del escurrimiento en el momento del relevamiento en m. Colocar X cuando no sea posible tomarla. Dejar en blanco si no hay agua.
5. Indicar el espesor del embanque en m. Colocar X cuando no sea posible tomarla. Dejar en blanco si no hay embanque.
6. Indicar la profundidad de la erosión en m. Colocar X cuando no sea posible tomarla. Dejar en blanco si no hay erosión.
7. Indicar la calificación hidráulica de acuerdo al estado, según lo indicado en el digesto correspondiente.
8. Croquis: dibujar esquemáticamente en planta yalzada, consignando las medidas de todo evento deteriorado (erosión, embanque, entrada o salida obstruida, etc.).
9. Observaciones: indicar todas las observaciones que se consideren necesarias respecto al funcionamiento hidráulico de la alcantarilla, del cauce en las inmediaciones de la misma o de la cuenca de derrame.

Condiciones Hidráulicas Badenes 06

Referencias:

1. Indicar si el curso es permanente o no. Indicar el nombre del curso si lo posee.
2. Indicar el ángulo de esviaje del curso.

3. Se tomara la cota máxima de inundación sobre el badén cuando lo permitan los vestigios dejados por crecientes máximas o según informaciones recabadas.
4. Indicar la profundidad del escurrimiento del badén en m. Dejar en blanco si no hay agua.
5. Indicar la profundidad de la erosión en m. Colocar X cuando no sea posible tomarla. Dejar en blanco si no hay erosión.
6. Indicar la calificación hidráulica de acuerdo al estado, según lo indicado en el digesto correspondiente.
7. Croquis: dibujar esquemáticamente en planta yalzada, consignando las medidas de todo evento deteriorado (erosión, embanque, etc.).
8. Observaciones: indicar todas las observaciones que se consideren necesarias respecto al funcionamiento hidráulico del badén.

3.4 CONDICIONES ESTRUCTURALES

Las fallas, deterioros, defectos, daños, averías, etc., que se presenten en cada uno de los elementos que integran una alcantarilla, se indicaran en la planilla de acuerdo a un código establecido en el digesto correspondiente.

Se calificarán las alcantarillas de acuerdo al estado de su estructura, valorándolas con un puntaje de 1 a 5 de acuerdo a lo establecido en el digesto. Se representaran, en los croquis que componen las planillas, los problemas detectados (fisuras, grietas, roturas, etc.), esquematizando su ubicación y forma.

Se registraran las observaciones que se estimen necesarias respecto a características estructurales de la obra o condiciones patológicas no previstas en el digesto.

3.5 INFORME

Se indicaran los códigos de las tareas o reparaciones que se estimen necesarios realizar para lograr un buen funcionamiento hidráulico y un buen comportamiento estructural.

El orden de prioridad la ejecución de estas tareas está dado por la calificación hidráulica y la calificación estructural que se le asigne a cada obra de arte.

Figura 3.6. Tareas o Reparaciones.

| CÓDIGO | TRABAJO |
|--------|--------------------------------|
| 01 | LIMPIAR AGUAS ARRIBA |
| 02 | LIMPIAR CAUCE AGUAS ABAJO |
| 03 | LIMPIAR CONDUCTO |
| 04 | PROFUNDIZAR CAUCE AGUAS ARRIBA |
| 05 | PROFUNDIZAR CAUCE AGUAS ABAJO |
| 06 | PROTEGER TALUDES |
| 07 | DEFENDER CONTRA EROSIÓN |
| 08 | PROVEER MAYOR TAPADA |
| 09 | PROLONGAR J |
| 10 | REPARAR FUNDACIÓN |
| 11 | REPARAR MUROS |
| 12 | REPARAR PLATEAS |
| 13 | REPARAR CONDUCTO |
| 14 | SELLAR JUNTAS |
| 15 | CONSTRUIR MUROS |
| 16 | CONSTRUIR PLATEAS |
| 17 | CONSTRUIR BARANDAS |
| 18 | REEMPLAZAR EXTREMO |
| 19 | REEMPLAZAR OBRAS DE ARTE |

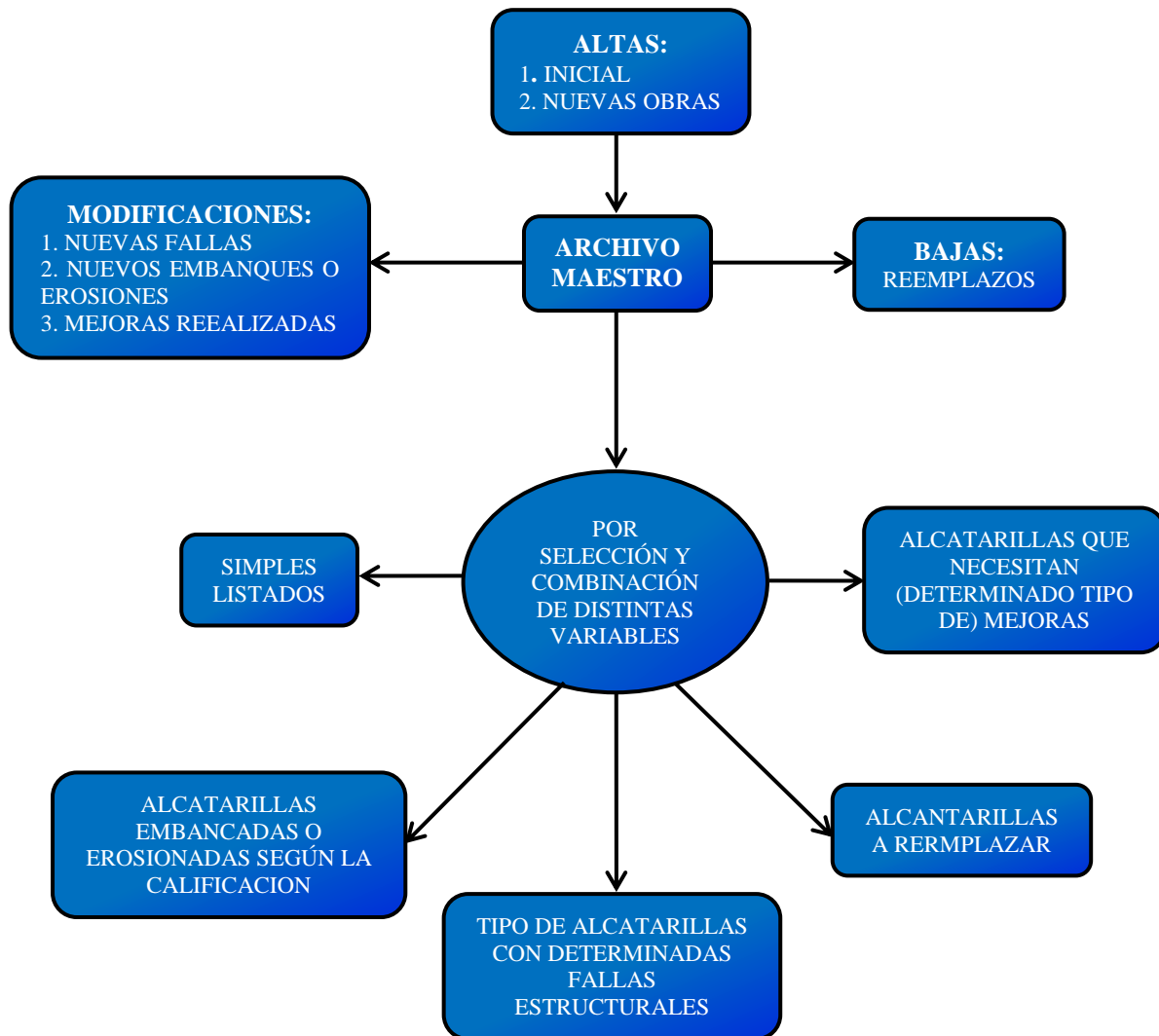
El orden de prioridad la ejecución de estas tareas está dado por la calificación hidráulica y la calificación estructural que se le asigne a cada obra de arte.

3.6 SISTEMATIZACIÓN DEL INVENTARIO

Comprende la creación de un Archivo Maestro, el que debe ser actualizado con futuros relevamientos. A partir de este archivo se deben seleccionar y combinar las variables, elaborando datos estadísticos a través de salidas que servirán de consulta de la información.

La sistematización de un inventario queda resumida en el siguiente diagrama:

Figura 3.6. Sistematización del Inventario.



3.7 INSPECCIÓN DE ESTADO

3.7.1 GENERALIDADES

Se entiende por inspección de una obra al conjunto sistemático de acciones necesarias para el cabal conocimiento de su estado y de los riesgos potenciales a que pueda estar expuesta.

Las tareas de inspección deben realizarse mediante relevamientos periódicos de campo. Estas tareas deben contemplar el análisis y la interpretación de todo proceso evolutivo que, en forma mediata o inmediata, signifique daños o deterioros a la estructura.

Evidentemente, una inspección desarrolla en forma radical y metódica es la única manera posible de conocer a pleno el estado de las estructuras de una red vial. La inspección de las obras se implementan sobre dos secuencias: inventario e inspección propiamente dicha.

3.7.2 INVENTARIO

El inventario es el punto de partida de la inspección, ya que su banco de datos es la fuente de toda documentación de base para el seguimiento en el tiempo de comportamiento de cada estructura.

Tal banco de datos debe estar permanentemente actualizado, en el mismo deben constar todas las bajas de estructura, refacciones, remodelaciones y el ingreso de toda obra nueva.

La sistematización del inventario deberá permitir en forma racional el ingreso y egreso de toda información proveniente de las inspecciones, así como conformar una ficha técnica apropiada para cada alcantarilla y servir de soporte para la organización de todas las acciones destinadas a la inspección de las obras.

3.7.3 PERSONAL TÉCNICO

El personal técnico de inspección debe actuar en forma metódica y ordenada, a fin de no omitir hechos existentes, conformar un minucioso examen de la estructura y su medio ambiente circundante. Para ello debe contar con un digesto que contenga el listado, para cada tipo de obra, de todas las observaciones, verificaciones y comprobaciones necesarias para una correcta inspección.

Es conveniente además, que el personal cuente con un catálogo de las fallas más comunes que suelen presentarse en la región, de acuerdo a la naturaleza agresiva del medio ambiente y la tipología de las alcantarillas existentes.

La inspección, en una primera instancia se apoya fundamentalmente en la observación visual. En cuanto a la capacitación, el personal integrante de las comisiones de campo debe ser de nivel y con suficiente experiencia en esta área específica. El jefe de comisión debe estar capacitado para detectar el problema, discernir su origen, evaluar su magnitud, interpretar el proceso de deterioro y estimar

a priori las posibles alternativas para su control. Este análisis le permitirá definir con precisión las acciones tendientes al relevamiento de datos y obtención de información.

3.7.4 TAREAS

Las tareas a realizar en una inspección comprenden acciones de la más diversa índole, están determinadas de acuerdo a las características del medio circundante, al tipo y al estado general de la estructura.

Tales tareas pueden clasificarse según dos categorías:

- Relevamiento de fallas y riesgos: comprende el registro, medición de fallas, valoración de fallas, defectos, deterioros, daños, cualquier otra problemática que puede presentar la estructura y su área de emplazamiento.
- Auscultación: cuando los problemas detectados en el relevamiento sean de consideración y la importancia de la estructura así lo justifique, pueden requerirse acciones de auscultación para evaluar con precisión el real de una estructura.

Se entiende por auscultación el conjunto de técnicas cooperativas específicas tendientes a evaluar el comportamiento de una obra por medio del registro progresivo de una serie de parámetros.

3.7.5 RELEVAMIENTO DE FALLAS Y RIESGOS

Comprende una variada gama de tareas entre las cuales pueden mencionarse:

- Levantamiento planialtimétrico de la zona del emplazamiento, registrando datos de erosión y embarbecimiento, desniveles en el lecho del cauce, cota de escurrimiento de máxima, cambios en la dirección del escurrimiento, etc.
- Reconocimiento de los taludes del terraplén en adyacencias de la alcantarilla, del estado de los conos terminales, del tipo de malezas y grado de cobertura, etc.
- En estructuras formadas con unidades prefabricadas, nivelación del perfil longitudinal del plano de fundación del conducto y medición de las secciones transversales en caso que estas presenten deformaciones respecto al galibo de proyecto.

- Estado de los materiales expuestos al medio ambiente, determinando el grado de erosión que corresponda.
- En estructuras de hormigón registro y medida de: deterioro superficial del hormigón, malas terminaciones, fisuras, grietas, rajaduras, desprendimientos de hormigón, daños y movimientos de apoyos, deterioro de juntas, recubrimiento insuficiente de armadura, etc.
- Grado de abrasión del material componente del fondo del conducto.
- Sobre fisuras, grietas o rajaduras, colocación de testigos de control para verificar si hay incremento de la misma. Los testigos pueden ser de una mezcla de yeso, arena y resina epoxi, mortero de cemento, resina sintética, placa de vidrio adherida con resina epoxi, etc.
- Registro de rotaciones, desplazamiento o descensos en las fundaciones.
- Reconocimiento de las obras para seguridad y confort en la circulación, como ser: estado del pavimento entre la rasante sobre la alcantarilla, barandas, barandas de defensa, transición entre la rasante sobre la alcantarilla y en sus adyacencias, señalización, etc.

3.7.6 DIAGNÓSTICO

Comprende el estudio, análisis de todos los antecedentes y registros de campo obtenidos en las inspecciones; de manera de poder definir el preciso estado de la estructura, el comportamiento previsible, las posibles medidas y dispositivos a adoptar para restablecer la calidad del proyecto de la obra. Este análisis conduce a evaluar el grado de necesidad de la implementación de tales tareas y estimar una fecha de máxima para su ejecución.

Este diagnóstico debe ser realizado por el mismo equipo técnico que efectuó el reconocimiento, en todas las oportunidades en que la obra sea inspeccionada.

CAPÍTULO IV

PLANTEAMIENTO PARA UNA METODOLOGÍA DE CONSERVACIÓN DE LAS ALCANTARILLAS DEL TRAMO “PUENTE UNIÓN EUROPEA - CARACHIMAYO”

4.1 GENERALIDADES

La información del proyecto parte de la identificación del problema o necesidad. Para esto, es necesario determinar claramente cuáles son las causas que originan la necesidad del mantenimiento vial.

El análisis planteado con esta metodología se orienta a escoger la mejor solución posible al problema o necesidad identificada, arrojar información básica para facilitar un posterior seguimiento y evaluación de resultados de los proyectos.

Esta metodología busca lograr una adecuada identificación, preparación y evaluación del proyecto; así como asegurar su financiamiento y sostenibilidad.

Se entiende por mantenimiento el conjunto de operaciones, trabajos necesarios para que una obra conserve las características que se previeron en el proyecto y fueron logrados en su construcción.

Tales características deben responder al siguiente detalle:

- **Serviciales:** la obra debe presentar al usuario de la carretera adecuadas condiciones de seguridad y confort.
- **Funcionales:** el funcionamiento hidráulico debe ser el previsto, evitando que se produzcan obstrucciones, embancamientos, erosiones, etc.
- **Estructurales:** los elementos resistentes deben mantener intactas todas sus características originales.
- **Estéticas:** la obra debe conservar la configuración estética dispuesta en el proyecto.

Durante la etapa del proyecto de una obra debe contemplarse que la misma estará sometida a un proceso de mantenimiento, por lo cual su estructura deberá ser concebida

de manera que tal mantenimiento sea realizable en la forma más simple y con el menor costo posible.

El personal de mantenimiento deberá tomar nota de todas las problemáticas que se presenten en las estructuras durante su funcionamiento.

Se entiende por remodelación de una estructura el conjunto de operaciones y trabajos necesarios para que una obra se modifique las características previstas en el proyecto y logradas en su construcción. Es decir que se trata de tareas no originadas en fallas o deficiente comportamiento de una estructura.

Estas modificaciones pueden consistir en diversas disposiciones, entre las cuales es dable mencionar:

- Refuerzo de la estructura, que implique un aumento de la capacidad portante prevista en el proyecto.
- Ampliación de la obra, ya sea el aumento de la sección de escurrimiento, aumento de la longitud J, construcción de plateas no previstas.
- Incremento de las medidas de seguridad vial, como ser construcción de barandas de defensa, cordones, señalización, etc.

Se entiende por reconstrucción las tareas de demolición de una estructura existente (colapsada, próxima a colapsar o que ha llegado al límite de su vida útil) y la construcción de una nueva en su reemplazo. La reconstrucción puede ser parcial y afectar solamente a uno varios elementos componentes de una estructura (ejemplo: muro de cabecera).

Los trabajos así discriminados en cuanto a sus objetivos, no presentan límites precisos que los diferencian netamente. Además una misma obra puede requerir la ejecución de distintos trabajos para lograr un adecuado funcionamiento.

Todas estas tareas (mantenimiento, remodelación y/o reconstrucción) necesarias para asegurar la correcta continuidad del servicio de una carretera, reciben el nombre genérico de conservación. Generalmente son ejecutadas por departamentos específicos

que tiene a su cargo el estudio del proyecto y construcción de las mismas, dentro de lo que pueda permitir la capacidad ejecutiva de planteles técnicos.

La conservación de una estructura comienza con la recepción definitiva de la obra por parte de la administración y termina al final del periodo útil.

Es fundamental implementar un adecuado control y mantenimiento de las alcantarillas pues son obras sometidas a severos procesos ambientales. Estos pueden desde perturbar el servicio hasta provocar su colapso.

El hecho de que los procesos ambientales (en general de naturaleza muy agresiva) sean de difícil previsión y de diferente origen (avenidas de aguas extraordinarias, cargas excesivas, choques, corrosión, fallas del suelo de fundación, etc.), sumando a que las alcantarillas comprenden de muy diversa tipología (sistema estructural, materiales, geometría de los muros de cabecera, etc.), hace que sea muy complejo el conjunto de acciones a implementar para realizar la conservación de obras de arte que determinan una red vial.

Por lo general las alcantarillas no colapsan ante un solo evento de gran magnitud, si no que su destrucción se produce como consecuencia de una serie progresiva de procesos erosivos. Esta característica permitirá instrumentar un adecuado plan de conservación sobre la base de control de las obras de arte mediante un sistema racional y de carácter permanente.

4.2 OBJETIVOS DE LA CONSERVACIÓN

El objetivo prioritario de la conservación es asegurar la continuidad del servicio de la carretera en correctas condiciones de seguridad y confort.

Por otro lado una conservación que permita la aplicación de adecuadas y oportunas medidas correctivas, controla el incremento progresivo de los daños evitando perjuicios mayores (inclusive el colapso de la estructura). Estas labores disminuyen el costo de eventuales reparaciones y aumentan la vida útil de las obras.

Además, una conservación sistemática permite evaluar el comportamiento de la estructura, detectando problemáticas que pueden ser controladas mediante el perfeccionamiento de los proyectos y la optimización de las técnicas constructivas.

También permite lograr, en forma progresiva y continua una refinada metodología de procedimientos para conservación de obras. La conservación es además un medio adecuado para valorar el comportamiento de los materiales ante el medio ambiente y con ello ajustar las previsiones en cuanto a su durabilidad.

4.3 FASES

Las fases a realizar para una correcta conservación de las obras de arte pueden agruparse en las siguientes fases:

- **Inspección:** consiste en la toma sistemática de datos precisos para implementar el análisis y definir la situación de cada obra.
- **Análisis y diseño:** comprende el estudio y proyecto de las mejoras necesarias incluyendo su cómputo y presupuesto. Esta fase incluye, además el análisis genérico de fallas a fin de implementar tecnologías específicas para su tratamiento.
- **Programación:** consiste en la preparación de planes de conservación (rutinarios anuales y especiales para casos de emergencia) mediante una orden de prioridad emergente del diagnóstico, de los proyectos de reparación y de su conciliación con las partidas presupuestarias.
- **Ejecución:** consiste en la realización de acciones preventivas, reparaciones, refuerzos y/o reconstrucción de las obras, de acuerdo a lo previsto en las fases de diseño y programación.

4.3.1 FORMATOS DE SALIDA

4.3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

| |
|--|
| Nombre del Proyecto: Alcantarillas tramo “Puente Union Europea – Carachimayo” |
| Formato ID 01: Descripción del Problema |
| <p>Descripción de la Situación Actual:</p> <p>Las alcantarillas que corresponden a este tramo presentan las siguientes características.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Algunas no cumplen su servicio y función. • Daños severos en la parte estructural. • Taludes dañados por el arrastre o erosionados. • Presentan erosiones severas en la parte estructural. • Embanque de material o sedimento que obstaculizan. • En algunos casos hay material de arrastre de gran dimensión para lo cual no hay obras de control o protección que dañan la estructura. |
| <p>Causas de Problemas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Subdimensionadas. • Necesidad de protección a los taludes mediante muros de gavión. • No se tiene reparación o mantenimiento rutinario. • No hay limpieza aguas arriba y aguas debajo de la estructura de los materiales de arrastre. • Falta de una base de datos. • Falta de información del proyecto (no existe). • Falta de obras de protección. |
| <p>Consecuencias de No Realizar Acciones para Solucionar el Problema:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Falta de una metodología de evaluación de alcantarillas. • Falta de presupuesto asignado a mantenimiento. • Falta de conocimiento y capacitación especializado en el tema de alcantarillas. • Falta de metodología de conservación, para un adecuado mantenimiento periódico y rutinario. • Falta de capacitación al as comunidades involucradas o beneficiadas con el camino en operación y mantenimiento. |

4.3.1.2 POBLACIÓN Y ZONA AFECTADA POR EL PROBLEMA

| |
|--|
| Nombre del Proyecto: Alcantarillas tramo “Puente Unión Europea – Carachimayo” |
| Formato ID 02: Población y Zona Afectada por el Problema |
| <p>Características de la Población Afectada por el Problema: El área del proyecto abarca la zona rural del departamento Tarija, en la primera sección de la provincia Méndez del municipio de San Lorenzo, específicamente las comunidades de Carachimayo, Canasmoro, Sella Méndez, Trancas y otras; de las cuales sus terrenos son productoras y casi todas ellas cuentan con riego lo que hace a estas regiones abastecedoras de muchos productos, especialmente de papa y maíz. Estas comunidades si bien de un tiempo a esta parte estaban dispersas, las viviendas unas a respecto a otras, hoy en día esta situación es muy distintas, el crecimiento ha aumentado considerablemente y las viviendas están una a continuación de otras, quizás porque cuentan a lo largo del camino con los servicios básicos, luz, agua potable, riego, teléfono, carreteras, etc.</p> |

4.3.1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO

| |
|--|
| Nombre del Proyecto: Alcantarillas tramo “Puente Unión Europea – Carachimayo” |
| Formato ID 03: Objetivo del Estudio |
| <p>Objetivo del Proyecto: El objetivo principal es el de evaluar las actuales alcantarillas en el tramo en estudio, ver sus condiciones desde el punto de vista estructural, hidráulico, verificar si cumple con su función, su operabilidad en toda época del año, ver si necesita el mantenimiento, reparación, alguna mejora, implementación o caso extremo la reconstrucción previo diseño, usando nuevas tecnologías y metodologías en el diseño de alcantarillas.</p> |
| <p>Descripción del Indicador N°1: Se analiza la condición hidráulica de la alcantarilla en estudio, si cumple el fin para el que fue concebido o no cumple su servicio o en casos extremos si está mal diseñada desde el punto de vista hidráulico se ve rebasada por eventos (lluvias, tormentas).</p> |
| <p>Descripción del Indicador N°2: Se analiza las condición estructural, si se encuentra sin daños a la estructura, analizando elemento por elemento, por cual evento ha sufrido daños, además de las acciones pertinentes o inmediatas a tomar.</p> |
| <p>Descripción del Indicador N°3: Se verifica tanto hidrológicamente e hidráulicamente volviendo a verificar los eventos lluviosos, características de la cuenca y si la alcantarilla es apta a estos; se vuelve a diseñar para satisfacer esas características.</p> |

4.3.1.4 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

| |
|--|
| Nombre del Proyecto: Alcantarillas tramo “Puente Unión Europea – Carachimayo” |
| Formato PE 01: Descripción del Estudio |
| El estudio consiste en ofrecer una nueva metodología en la evaluación de alcantarillas consistente en: |
| <ul style="list-style-type: none"> • Hacer un relevamiento topográfico de cada una de ellas, tanto del camino y la sección del río o la quebrada que atraviesa por cada pieza. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Hacer una inspección del camino, anotar las progresivas en la que se encuentra cada una de las alcantarillas, las características más relevantes del camino en cada punto como sección, ancho de plataforma, pendiente de entrada y salida de la obra de arte. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Hacer un relevamiento de las características más importantes de cada alcantarilla evaluando sus condiciones estructurales, hidráulicas y las características físicas más relevantes. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Mediante las características físicas e hidráulicas de cada alcantarilla, en base a los datos estadísticos de los eventos lluviosos se verifica si realmente cada alcantarilla cumple con el objetivo y finalidad para el cual fue concebido, caso contrario si se verifica que por ejemplo la sección de una alcantarilla es insuficiente se la cataloga de subdimensionada, por tanto se recomienda su rediseño y reconstrucción. |
| <ul style="list-style-type: none"> • En este estudio igualmente se ha presentado el caso de alcantarillas con sección insuficiente y se vuelve a diseñar mediante una nueva metodología de diseño ofrecida por el autor argentino Ing. Guillermo Corneo. |
| <ul style="list-style-type: none"> • En este estudio además se recomienda y sugiere según sea el caso, obras de protección y control en las alcantarillas. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Finalmente se ofrece para este proyecto específico un presupuesto de mantenimiento y reconstrucción según sea el caso para las alcantarillas de este tramo. |

4.3.1.5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ESTUDIO

| Nombre del Proyecto: Alcantarillas tramo “Puente Unión Europea – Carachimayo” | | | |
|---|-----------------------|---------------------------|-------------------------|
| FORMATO PE 02: Características Técnicas del Estudio | | | |
| Características Topográficas del Corredor Vial | | | |
| Terreno Plano | 60 | % Sobre la Longitud Total | |
| Terreno Ondulado | 35 | % Sobre la Longitud Total | |
| Terreno Montañoso | 5 | % Sobre la Longitud Total | |
| Características Geométricas | | | |
| Componente | Unidad | Sin Proyecto | Con Proyecto |
| Longitud total de la vía | km | 7,43 | 7,43 |
| Longitud atendida con el proyecto | km | 7,43 | 7,43 |
| Capa de rodadura | Pv.(km) | Estabilización de ripio | Estabilización de ripio |
| Ancho de corona | m | 7,50 | 7,50 |
| Ancho de calzada | m | 8,50 | 8,50 |
| Ancho de carril | m | 3,65 | 3,65 |
| Ancho de berma | m | 1,00 | 1,00 |
| Cunetas | km | - | - |
| Pendiente longitudinal máxima | % | 8,00 | 8,00 |
| Velocidad de operación | km/h | 40,00 | 40,00 |
| TPD | # | - | - |
| Automóviles | # | - | - |
| Buses | # | - | - |
| Características Físicas del Estudio | | | |
| Estructura | Estado de la Vía (km) | | |
| | Bueno | Regular | Malo |
| Sub base | | Si | |
| Capa de Rodadura | | Si | |

4.3.1.6 IMPACTO AMBIENTAL

| Nombre del Proyecto: Alcantarillas Tramo “Puente Unión Europea – Carachimayo” | | | |
|---|---|------------------------------|---|
| Formato PE 04: Impactos Ambientales y Programa de Mitigación de la Alternativa | | | |
| Impacto Ambiental de la Alternativa | | | |
| En la zona del problema (marque con x) áreas ambientales sensibles, tales como: | | | |
| Parque natural | X | Ciénagas, humedales | X |
| Santuarios de fauna y flora | | Paramos | |
| Reserva forestal | X | Cuenca en ordenamiento | X |
| Bosques | | Playa marina | |
| Manglares | | Resguardos indígenas | |
| Selvas | | Zona de interés arqueológico | |
| Describa el Impacto Ambiental de la Alternativa: | | | |
| <p>El estudio no afecta al medio ambiente, por el contrario viene a fortalecer lo que es la flora, resguardando los taludes del camino, mediante protección de los ríos y quebradas; así como también el control de la erosión en los alrededores de las obras de arte.</p> <p>Se prevé la colocación de muros de gavión, en lugares donde en épocas de lluvia, los eventos lluviosos han afectado los taludes del camino originando erosión y su destrucción parcial; se prevé además la colocación de vegetación arbórea y arbustiva en lugares donde ha golpeado fuertemente la erosión.</p> | | | |

4.4 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados evaluados hasta aquí se basan en la evaluación y relevamiento hecho a las alcantarillas del tramo en estudio. Los resultados nos revelan las condiciones actuales de cada una de las alcantarillas verificando su:

- Condición física.
- Condición estructural.
- Condición hidráulica.
- Verificación del diseño de la estructura.

En función de estas condiciones se tomaran acciones y medidas a adoptar en el caso, como el detalle que se muestra a continuación:

- Reparación o mantenimiento.
- Propuesta de obras de protección.
- Propuesta de obras de control.
- Reconstrucción u obra nueva bajo nuevas metodologías.

Los resultados detallados se muestran en tablas en los Anexos 02, 03 y 04.

CAPÍTULO V

APLICACIÓN PRÁCTICA

5.1 HIDROLOGÍA DE LA ZONA EN ESTUDIO

En la inspección de campo personalizada a cada alcantarilla se toma los parámetros más relevantes que circunscriben y que afectan directamente a la alcantarilla en el ámbito hidrológico, estos parámetros son:

- Área de aporte del río o cauce que afecta directamente a la alcantarilla.
- Longitud del río o cauce principal en kilómetros desde el punto de inicio del río o quebrada hasta donde se encuentra la alcantarilla.
- Desnivel en metros existente entre el punto de inicio del río o quebrada hasta donde se encuentra la alcantarilla.
- Pendiente media del curso, es decir la pendiente longitudinal del eje del río o quebrada, que se obtiene mediante medición en el levantamiento topográfico.
- Coeficiente de escorrentía, que se obtiene en función al tipo de terreno y cobertura del suelo predominante en esa sub cuenca que alimenta a la alcantarilla.

Tabla 5.1. Características de las sub cuenca (Quebradas).

| Nº | Progresiva Aproximada | Longitud del Cauce (km) | Área Sub Cuenca (Km ²) | Denominación | Observaciones |
|----|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------|-------------------------------|
| 1 | 0+190,24 | 0,0909 | 0,0168 | Área 1 | Quebrada con curso temporal |
| 2 | 1+107,24 | 0,2670 | 0,0535 | Área 2 | Quebrada con curso temporal |
| 3 | 2+462,54 | 0,3160 | 0,0730 | Área 3 | Quebrada con curso permanente |
| 4 | 2+826,16 | 0,3160 | 0,0730 | Área 4 | Quebrada con curso temporal |
| 5 | 4+020,76 | 2,1150 | 0,2360 | Área 5 | Quebrada con curso permanente |
| 6 | 4+289,60 | 0,3965 | 0,0541 | Área 6 | Quebrada con curso permanente |
| 7 | 4+478,84 | 0,7240 | 0,1070 | Área 7 | Quebrada con curso temporal |
| 8 | 5+073,60 | 0,4345 | 0,0895 | Área 8 | Quebrada con curso temporal |
| 9 | 5+185,76 | 0,3930 | 0,0580 | Área 9 | Quebrada con curso temporal |
| 10 | 5+604,24 | 0,4850 | 0,0755 | Área 10 | Quebrada con curso temporal |
| 11 | 5+740,08 | 0,3799 | 0,0549 | Área 11 | Quebrada con curso temporal |
| 12 | 6+007,72 | 0,6225 | 0,0485 | Área 12 | Quebrada con curso temporal |
| 13 | 6+102,52 | 0,5180 | 0,1290 | Área 13 | Quebrada con curso temporal |
| 14 | 6+834,64 | 1,8900 | 0,2015 | Área 14 | Quebrada con curso permanente |
| 15 | 7+206,12 | 0,8850 | 0,1255 | Área 15 | Quebrada con curso permanente |
| 16 | 7+423,80 | 1,2500 | 0,0785 | Área 16 | Quebrada con curso permanente |

Para el diseño hidrológico se toma en cuenta cuatro estaciones cercanas que son:

- Estación de Canasmoro.
- Estación de San Lorenzo.
- Estación de Sella Quebradas.
- Estación de Trancas.

Tabla 5.2. Estaciones pluviométricas identificadas.

| Nº | Estación | Latitud "S" | Longitud "W" | Altura (m.s.n.m.) | Periodo de Registro |
|----|--------------|-------------|--------------|-------------------|---------------------|
| 1 | Canasmoro | 21° 32' | 64° 45' | 2.080 | 1973 - 2003 |
| 2 | San Lorenzo | 21° 25' | 64° 44' | 1.900 | 1975 - 1994 |
| 3 | Sella Qvdas. | 21° 22' | 64° 39' | 2.160 | 1986 - 2012 |
| 4 | Trancas | 21° 18' | 64° 49' | 2.200 | 1984 - 2012 |

Con esta información, con estadística básica obtenemos las medias, la moda, las desviaciones estándar.

Entonces obtenemos como producto:

- Lluvias máximas diarias.
- Periodo de duración de las lluvias.
- Intensidades máximas para diferentes periodos de duración.
- Tiempos de concentración.
- Intensidades de precipitación.
- Caudal ponderado.

En este sentido, se han calculado los parámetros respectivos para la serie de datos, el procesamiento de los datos se realizó mediante una base de datos en formato excel y se utilizaron tablas dinámicas para la tabulación automática de los datos; esta información se muestra en detalle en el **Anexo 7**. A continuación se muestran tablas de resumen de los parámetros calculados:

Tabla 5.3. Intensidades máximas correspondientes a diferentes periodos de retorno.

| Periodo de Retorno T (años) | Duración de Lluvias (hrs) | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|------|------|
| | 2 | 4 | 6 | 12 | 18 | 24 |
| 10 | 29,13 | 16,73 | 12,10 | 6,95 | 5,02 | 3,99 |
| 15 | 31,79 | 18,26 | 13,20 | 7,58 | 5,48 | 4,35 |
| 20 | 33,67 | 19,34 | 13,98 | 8,03 | 5,81 | 4,61 |
| 50 | 39,68 | 22,79 | 16,48 | 9,46 | 6,84 | 5,43 |
| 100 | 44,22 | 25,40 | 18,36 | 10,55 | 7,62 | 6,06 |

Figura 5.1. Esquema de las Curvas IDF para distintos periodos de retorno.

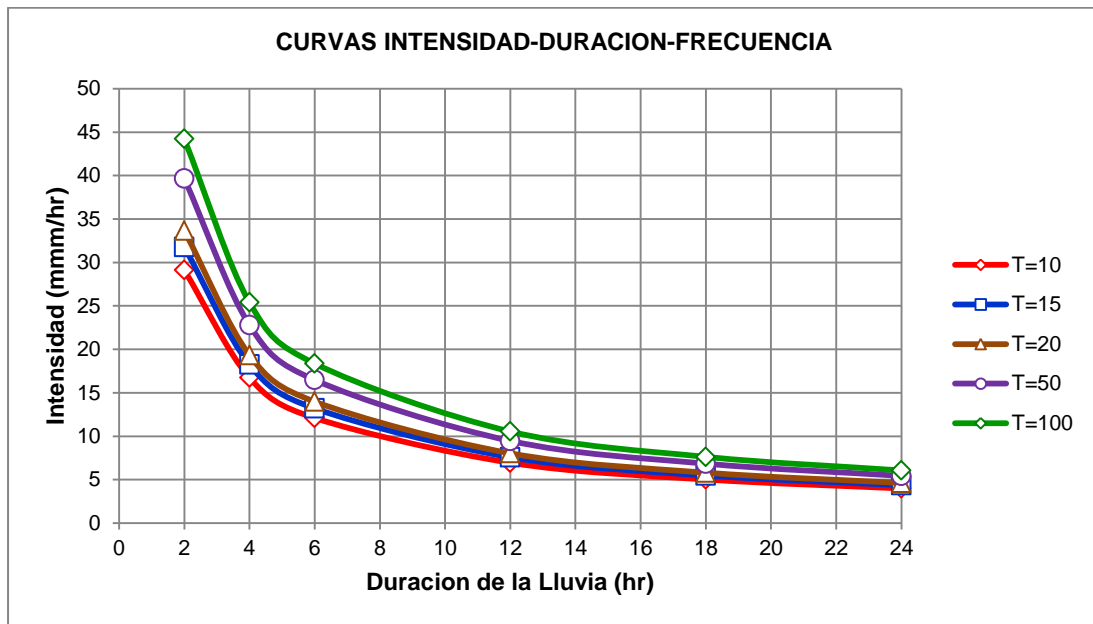


Tabla 5.4. Intensidades máximas para Tc promedio.

| Quebrada N° | Tc Promedio | Intensidad (mm/hr) | | |
|-------------|-------------|--------------------|---------|---------|
| | | T=15 | T=25 | T=50 |
| 1 | 0,029 | 928,23 | 1025,97 | 1158,60 |
| 2 | 0,129 | 285,01 | 315,03 | 355,75 |
| 3 | 0,171 | 227,57 | 251,53 | 284,04 |
| 4 | 0,171 | 227,57 | 251,53 | 284,04 |
| 5 | 0,837 | 63,83 | 70,55 | 79,67 |
| 6 | 0,136 | 273,35 | 302,13 | 341,19 |
| 7 | 0,188 | 210,67 | 232,85 | 262,95 |
| 8 | 0,150 | 252,43 | 279,01 | 315,08 |
| 9 | 0,115 | 311,78 | 344,61 | 389,16 |
| 10 | 0,084 | 400,13 | 442,26 | 499,43 |
| 11 | 0,071 | 460,97 | 509,51 | 575,38 |
| 12 | 0,092 | 373,99 | 413,37 | 466,81 |
| 13 | 0,121 | 300,60 | 332,26 | 375,21 |
| 14 | 0,278 | 154,29 | 170,54 | 192,59 |
| 15 | 0,138 | 269,84 | 298,25 | 336,81 |
| 16 | 0,200 | 200,75 | 221,89 | 250,57 |

Tabla 5.5. Resumen de Caudales para distintos periodos de retorno.

| Quebrada N° | Progresiva | Área (km2) | Coeficiente de Escorrentía (C) | Caudal (m3/seg) | | |
|-------------|------------|------------|--------------------------------|-----------------|-------|-------|
| | | | | T=15 | T=25 | T=50 |
| 1 | 0+190,24 | 0,0168 | 0,20 | 0,866 | 0,958 | 1,081 |
| 2 | 1+107,24 | 0,0535 | 0,20 | 0,847 | 0,936 | 1,057 |
| 3 | 2+462,54 | 0,0730 | 0,20 | 0,923 | 1,020 | 1,152 |
| 4 | 2+826,16 | 0,0730 | 0,20 | 0,923 | 1,020 | 1,152 |
| 5 | 4+020,76 | 0,2360 | 0,20 | 0,837 | 0,925 | 1,045 |
| 6 | 4+289,60 | 0,0541 | 0,20 | 0,822 | 0,908 | 1,025 |
| 7 | 4+478,84 | 0,1070 | 0,20 | 1,252 | 1,384 | 1,563 |
| 8 | 5+073,60 | 0,0895 | 0,20 | 1,255 | 1,387 | 1,567 |
| 9 | 5+185,76 | 0,0580 | 0,20 | 1,005 | 1,110 | 1,254 |
| 10 | 5+604,24 | 0,0755 | 0,20 | 1,678 | 1,855 | 2,095 |
| 11 | 5+740,08 | 0,0549 | 0,20 | 1,406 | 1,554 | 1,755 |
| 12 | 6+007,72 | 0,0485 | 0,20 | 1,008 | 1,114 | 1,258 |
| 13 | 6+102,52 | 0,1290 | 0,20 | 2,154 | 2,381 | 2,689 |
| 14 | 6+834,64 | 0,2015 | 0,20 | 1,727 | 1,909 | 2,156 |
| 15 | 7+206,12 | 0,1255 | 0,20 | 1,881 | 2,079 | 2,348 |
| 16 | 7+423,80 | 0,0785 | 0,20 | 0,875 | 0,968 | 1,093 |

Tabla 5.6. Resumen de los coeficientes de Manning (n) para los distintos Cauces.

| Qda. N° | Progresiva | Coeficiente Cauce (n) | Descripción del Cauce | Descripción las orillas del Cauce |
|---------|------------|-----------------------|--|---|
| 1 | 0+190,24 | 0,035 | Grava, algo de pasto y hiervas | Matorrales ligeros y árboles. |
| 2 | 1+107,24 | 0,05 | Grava, guijarros, pocos cantos rodados | Hierbas livianas, matorrales dispersos. |
| 3 | 2+462,54 | 0,035 | Grava, algo de pasto y hiervas. | Matorrales ligeros y árboles. |
| 4 | 2+826,16 | 0,05 | Grava, guijarros, pocos cantos rodados | Matorrales ligeros y árboles. |
| 5 | 4+020,76 | 0,05 | Grava, guijarros, pocos cantos rodados | Hierbas livianas, matorrales dispersos |
| 6 | 4+289,60 | 0,05 | Grava, guijarros, pocos cantos rodados | Pasto alto y corto, matorrales dispersos. |
| 7 | 4+478,84 | 0,05 | Grava, guijarros, pocos cantos rodados | Hierbas livianas, matorrales dispersos. |
| 8 | 5+073,60 | 0,035 | Grava, algo de pasto y hiervas | Áreas de cultivos, pasto, matorrales. |
| 9 | 5+185,76 | 0,05 | Grava, guijarros, pocos cantos rodados | Hierbas livianas, matorrales dispersos. |
| 10 | 5+604,24 | 0,05 | Grava, guijarros, pocos cantos rodados | Hierbas livianas, matorrales dispersos. |
| 11 | 5+740,08 | 0,05 | Grava, guijarros, pocos cantos rodados | Pasto alto y corto, matorrales dispersos. |
| 12 | 6+007,72 | 0,035 | Grava, algo de pasto y hiervas | Matorrales ligeros y árboles. |
| 13 | 6+102,52 | 0,05 | Grava, guijarros, pocos cantos rodados | Hierbas livianas, matorrales dispersos. |
| 14 | 6+834,64 | 0,05 | Grava, guijarros, pocos cantos rodados | Hierbas livianas, matorrales dispersos. |
| 15 | 7+206,12 | 0,05 | Grava, guijarros, pocos cantos rodados | Pasto alto y corto, matorrales dispersos. |
| 16 | 7+423,80 | 0,035 | Grava, algo de pasto y hiervas | Matorrales ligeros y árboles. |

Tabla 5.7. Resumen de datos para la resolución de Alcantarillas.

| Quebrada Nº | Longitud Conducto (m) | Angulo de Esviaje (°) | Pendiente Conducto (%) | Caudales | | Altura de Agua a la Salida HS (m) | | Elevaciones (m.s.n.m.) | | | |
|----------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|------------------------|---------|---------|---------|
| | | | | T=25 (diseño) | T=50 (max) | T=25 (diseño) | T=50 (max) | EL hd | EL i | EL o | EL c |
| 1 | 10,98 | 12,5 | 1,18 | 0,958 | 1,081 | 0,470 | 0,512 | 2046,11 | 2044,70 | 2044,57 | 2046,93 |
| 2 | 10,70 | 3,2 | 1,10 | 0,936 | 1,057 | 0,475 | 0,516 | 2075,02 | 2073,60 | 2073,48 | 2075,87 |
| 3 | 10,14 | 36,7 | 2,07 | 1,020 | 1,152 | 0,397 | 0,432 | 2096,39 | 2094,99 | 2094,77 | 2097,01 |
| 4 | 13,92 | 6,3 | 2,17 | 1,020 | 1,152 | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 10,70 | 1,2 | 1,86 | 0,925 | 1,045 | 0,331 | 0,359 | 2130,86 | 2129,45 | 2129,25 | 2131,65 |
| 6 | 11,06 | 31,6 | 1,20 | 0,908 | 1,025 | 0,564 | 0,616 | 2136,82 | 2135,40 | 2135,27 | 2137,53 |
| 7 | 10,48 | 4,4 | 1,76 | 1,384 | 1,563 | - | - | - | - | - | - |
| 8 | 11,33 | 38,4 | 1,37 | 1,387 | 1,567 | 0,423 | 0,460 | 2149,91 | 2148,49 | 2148,29 | 2150,75 |
| 9 | 10,34 | 20,6 | 1,09 | 1,110 | 1,254 | 0,548 | 0,597 | 2156,21 | 2154,80 | 2154,69 | 2157,02 |
| 10 | 11,67 | 4,8 | 1,97 | 1,855 | 2,095 | 0,554 | 0,602 | 2165,84 | 2164,44 | 2164,21 | 2166,60 |
| 11 | 10,22 | 20,1 | 2,60 | 1,554 | 1,755 | 0,512 | 0,557 | 2162,45 | 2161,05 | 2160,78 | 2163,22 |
| 12 | 11,46 | 23,8 | 2,24 | 1,114 | 1,258 | 0,336 | 0,365 | 2171,63 | 2170,22 | 2169,96 | 2172,48 |
| 13 | 11,80 | 50,4 | 2,63 | 2,381 | 2,689 | 0,689 | 0,753 | 2168,33 | 2166,91 | 2166,60 | 2169,00 |
| 14 | 11,54 | 35,2 | 1,82 | 1,909 | 2,156 | 0,542 | 0,589 | 2171,45 | 2170,05 | 2169,84 | 2172,19 |
| 15 | 11,98 | 17,2 | 2,00 | 2,079 | 2,348 | 0,690 | 0,753 | 2187,48 | 2186,08 | 2185,84 | 2188,08 |
| 16 | 10,90 | 8,6 | 1,83 | 0,968 | 1,093 | 0,518 | 0,567 | 2193,09 | 2191,69 | 2191,49 | 2193,72 |

Dónde: El hd es la elevación de carga de agua admisible.

El i es la elevación a la entrada.

El o es la elevación a la salida.

El c es la elevación de la corona de la carretera.

5.2 VERIFICACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LAS ALCANTARILLAS

Las alcantarillas en su totalidad de las evaluadas en el tramo comprendido entre “Puente Unión Europea – Carachimayo” han sido sometidas a verificación de redimensionamiento tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Intensidad de precipitación.
- Caudal de cauce usando el hidrológico que resulta ser el mayor caudal.
- Los vestigios a la entrada y salida de la alcantarilla referente a los niveles máximos a que ha alcanzado una llegada de río, dejando sus marcas en el conducto de la alcantarilla.
- El largo del conducto.

- El ancho en el caso de alcantarillas rectangulares, el diámetro en el caso de alcantarillas circulares.
- El ángulo que forman los muros y la tipología.
- El alto del conducto.
- La pendiente longitudinal del cauce en el tramo referente al emplazamiento de la alcantarilla.
- El coeficiente de escorrentía si tiene plataforma o si es de tierra el conducto.

Aplicando las metodologías de diseño de alcantarillas propuestas por la Federal Highway, que utiliza gráficas y verificando el tipo de escurrimiento.

Como un ejemplo, se diseñará con un detalle minucioso para una configuración dada a la alcantarilla, para luego completar con otras configuraciones hasta lograr el diseño más adecuado en la hoja de diseño, también estas hojas serán completadas para cada uno de las diferentes alcantarillas.

5.2.1 Ejemplo de diseño de la Alcantarilla N° 1

El Formato de diseño de una alcantarilla, mostrado en la figura 5.2, se ha formulado para guiar al usuario a través del proceso de diseño. Se mantienen los bloques sumarios en la parte superior de la hoja, la descripción del proyecto y la identificación del diseñador. Los resúmenes de datos hidrológicos también son incluidos en la hoja. En la parte derecha superior un boceto pequeño de la alcantarilla está con los espacios en blanco por insertar dimensiones importantes y elevaciones.

El primer paso en el proceso del diseño, es resumir todos los datos conocidos para la alcantarilla en la parte superior de la hoja de diseño de la alcantarilla como se muestra en la figura 5.3.

Antes de introducir todos los datos conocidos, primeramente se procederá a la obtención de la altura de agua a la salida HS, porque el conocimiento de la altura de agua, aguas abajo de la estructura es importante para determinar la capacidad de las alcantarillas que fluyen con control a la salida.

Figura 5.2. Hoja de trabajo para el diseño de una alcantarilla.

| PROYECTO: <input style="width:90%;" type="text"/> ESTACIÓN: <input style="width:40%;" type="text"/> DE <input style="width:40%;" type="text"/> HOJA: <input style="width:40%;" type="text"/> DE <input style="width:40%;" type="text"/> | FORMATO PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS DISEÑADOR/FECHA: <input style="width:40%;" type="text"/> / <input style="width:40%;" type="text"/> REVISADOR/FECHA: <input style="width:40%;" type="text"/> / <input style="width:40%;" type="text"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---------------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------|-----------|--------|----|--------|-------------------|--------|-----------|--|--------------------------------|-----------------------------|---------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----|----|-----------|-----------|--------|----|--------|----|--------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| DATOS HIDROLÓGICOS: MÉTODO: <input style="width:90%;" type="text"/> ÁREA DE DRENAJE: <input style="width:90%;" type="text"/> (km ²) PENDIENTE DEL CAUCE: <input style="width:90%;" type="text"/> (%) FORMA DEL CANAL: <input style="width:90%;" type="text"/> RUTA DELAS AVENIDAS: <input style="width:90%;" type="text"/> OTROS: <input style="width:90%;" type="text"/> FLUJOS DE DISEÑO/ALTURA DE AGUA EN LA DESCARGA: <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>PERIODO DE RETORNO</th> <th>FLUJO (m³/s)</th> <th>HS (m)</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> | PERIODO DE RETORNO | FLUJO (m ³ /s) | HS (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERIODO DE RETORNO | FLUJO (m ³ /s) | HS (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">DIAMETRO (m) (1)</th> <th colspan="2">DESCRIPCIÓN DE LA ALCANTARILLA</th> <th rowspan="2">FLUJO TOTAL Q (m³/s)</th> <th rowspan="2">FLUJO POR CAJÓN Q (m³/s)</th> <th colspan="5">CONTROL DE ENTRADA</th> <th colspan="4">CONTROL DE SALIDA</th> <th rowspan="2">ELEVACIÓN DE LA CABEZA DE AGUA</th> <th rowspan="2">VELOCIDAD A LA SALIDA (m/s)</th> <th rowspan="2">OBSERVACIONES</th> </tr> <tr> <th>MATERIAL FORMA</th> <th>ENTRADA</th> <th>COEFICIENTE (n)</th> <th>HEd</th> <th>HE</th> <th>CAIDA (3)</th> <th>EL h1 (4)</th> <th>HS (5)</th> <th>dc</th> <th>ho (6)</th> <th>ke</th> <th>HL (7)</th> <th>EL h0 (8)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table> | | | DIAMETRO (m) (1) | DESCRIPCIÓN DE LA ALCANTARILLA | | FLUJO TOTAL Q (m ³ /s) | FLUJO POR CAJÓN Q (m ³ /s) | CONTROL DE ENTRADA | | | | | CONTROL DE SALIDA | | | | ELEVACIÓN DE LA CABEZA DE AGUA | VELOCIDAD A LA SALIDA (m/s) | OBSERVACIONES | MATERIAL FORMA | ENTRADA | COEFICIENTE (n) | HEd | HE | CAIDA (3) | EL h1 (4) | HS (5) | dc | ho (6) | ke | HL (7) | EL h0 (8) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIAMETRO (m) (1) | DESCRIPCIÓN DE LA ALCANTARILLA | | | FLUJO TOTAL Q (m ³ /s) | FLUJO POR CAJÓN Q (m ³ /s) | | | CONTROL DE ENTRADA | | | | | CONTROL DE SALIDA | | | | | | | ELEVACIÓN DE LA CABEZA DE AGUA | VELOCIDAD A LA SALIDA (m/s) | OBSERVACIONES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | MATERIAL FORMA | ENTRADA | COEFICIENTE (n) | | | HEd | HE | CAIDA (3) | EL h1 (4) | HS (5) | dc | ho (6) | ke | HL (7) | EL h0 (8) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| (1) USE ALTO H PARA LAS ALCANTARILLAS TIPO CAJÓN (2) HED = HED o HEB DE LAS CARTAS DE DISEÑO PARA LAS ALCANTARILLAS TIPO CAJÓN (3) CAIDA = HE - (EL hd - EB sf); LA CAIDA ES CERO PARA LAS ALCANTARILLAS CON PENDIENTE (4) EL h1 = HEI + EL I (DE LA SECCIÓN DE CONTROL EN LA ENTRADA) (5) HS CONSIDERE EN EL CONTROL AGUAS ABAJO O LA PROFUNDIDAD DE FLUJO EN EL CANAL (6) ho = HS o (d + D)/2 (EL QUE SEA MAYOR) (7) HL = (1 + Ke + (19.63 m ² L/R ⁴ 1.33) V ² /2g (8) EL h0 = EL o + HL + ho ALCANTARILLA SELECCIONADA TAMAÑO: <input style="width:90%;" type="text"/> FORMA: <input style="width:90%;" type="text"/> MATERIAL: <input style="width:90%;" type="text"/> n: <input style="width:40%;" type="text"/> ENTRADA: <input style="width:90%;" type="text"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Utilizando la ecuación de Manning, se calcula para cada gasto para los periodos de retorno correspondientes la altura HS, teniendo en cuenta el valor del coeficiente de Manning “n”.

Tabla 5.5. Resumen de caudales y alturas de agua.

| Caudal (m ³ /s) | | Altura de agua HS (m) |
|----------------------------|-------|-----------------------|
| Mínimo | 1,341 | 0,80 |
| Diseño | 1,482 | 0,85 |
| Verificación | 1,674 | 0,99 |

Si la altura de agua a la salida estuviese determinada por algún control aguas abajo, su determinación deberá hacerse por procedimientos más elaborados, como por ejemplo, el cálculo del perfil de agua correspondiente a la curva de remanso que se forme.

Una vez que son obtenidas las alturas de aguas a la salida HS, se procederá la introducción de los datos requeridos en la parte superior de la hoja de diseño, como se muestra en la figura 5.3.

Figura 5.3. Resumen de datos conocidos (parte superior del formato de diseño).

| PROYECTO: <input type="text" value="PROYECTO TESIS"/> TRAMO: "PUENTE UNIÓN EUROPEA - CARACHIMAYO" | ESTACIÓN: <input type="text" value="0+190,24"/> HOJA: <input type="text" value="1"/> DE <input type="text" value="16"/> | FORMATO PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS DISEÑADOR/FECHA: <input type="text"/> / <input type="text"/> REVISADOR/FECHA: <input type="text"/> / <input type="text"/> | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|--------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|--|--|
| DATOS HIDROLÓGICOS: MÉTODO: <input type="text" value="RACIONAL"/> ÁREA DE DRENAJE: <input type="text" value="0,0168"/> (km ²) PENDIENTE DEL CAUCE: <input type="text" value="8,64"/> (%) FORMA DEL CANAL: <input type="text" value="IRREGULAR"/> RUTA DE LAS AVENIDAS: <input type="text"/> OTROS: <input type="text"/> | | | | | | | | | | | | | | |
| FLUJOS DE DISEÑO/ALTURA DE AGUA EN LA DESCARGA: <table border="1"> <thead> <tr> <th>PERIODO DE RETORNO</th> <th>FLUJO (m³/s)</th> <th>HS (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15 años</td> <td>0,958</td> <td>0,439</td> </tr> <tr> <td>25 años</td> <td>0,958</td> <td>0,470</td> </tr> <tr> <td>50 años</td> <td>1,081</td> <td>0,512</td> </tr> </tbody> </table> | PERIODO DE RETORNO | FLUJO (m ³ /s) | HS (m) | 15 años | 0,958 | 0,439 | 25 años | 0,958 | 0,470 | 50 años | 1,081 | 0,512 | | |
| PERIODO DE RETORNO | FLUJO (m ³ /s) | HS (m) | | | | | | | | | | | | |
| 15 años | 0,958 | 0,439 | | | | | | | | | | | | |
| 25 años | 0,958 | 0,470 | | | | | | | | | | | | |
| 50 años | 1,081 | 0,512 | | | | | | | | | | | | |

a) Con los datos requeridos ya introducidos en la parte superior del formato el procedimiento de diseño hidráulico de las alcantarillas es el siguiente:

b) El siguiente paso es seleccionar preliminarmente el material, la forma, tamaño y tipo de la entrada de alcantarilla.

Figura 5.4. Datos de la configuración de la alcantarilla (formato de diseño).

| DESCRIPCIÓN DE LA ALCANTARILLA | | | |
|--------------------------------|----------------------|--------------|-----------------|
| DIÁMETRO (m)(1) | MATERIAL FORMA | ENTRADA (ke) | COEFICIENTE (n) |
| 1,0 | Circular CMP Cabezal | 0,5 | 0,024 |

d) Luego se introduce el gasto total, como también la proporción de gasto de diseño si el número de conductos a utilizar es diferente de 1, este número puede ser un número diferente e igual a 1, dependiendo del tamaño tentativo de la alcantarilla, como el caudal total a descargar entonces se tiene:

$$Q / N = 0,958 / 1 = 0,958 \text{ m}^3/\text{s}$$

e) El siguiente paso es proceder con los cálculos con control en la entrada. Utilizando el nomograma de control a la entrada apropiado al tipo de alcantarilla, y considerando el tamaño tentativo antes seleccionado, se determinará en las escalas correspondientes la relación $HE_i = HE / D$ como se observa en la figura 5.5.

Localice el tamaño de la alcantarilla seleccionada en la escala tamaño, que en nuestro caso es 1000 mm (punto 1) y el gasto de diseño en la escala caudal que para nuestro caso es de 0,958 m³/s (punto 2), en las escalas apropiadas del nomograma con control en la entrada, estas lecturas se deben efectuar con la mayor precisión porque de éstas dependerá los resultados a obtener. Usando un regla cuidadosamente extienda una

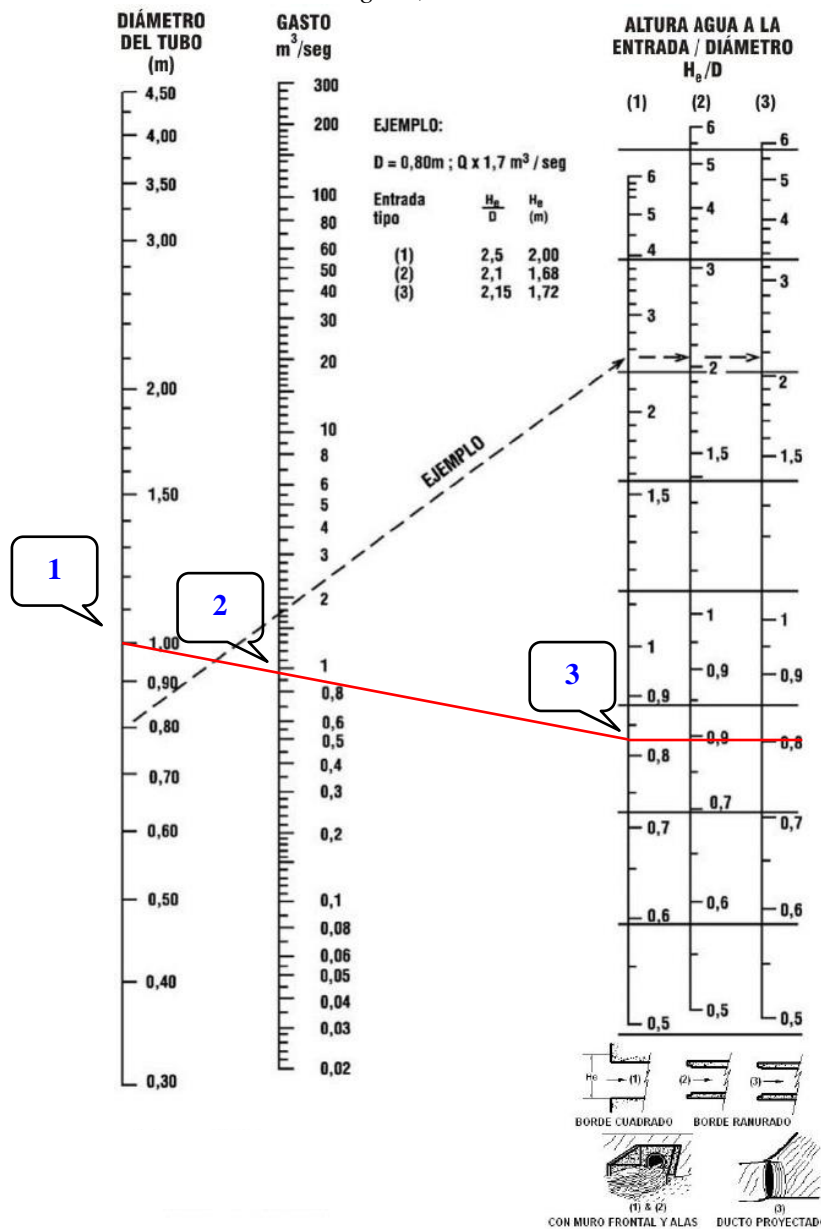
línea recta desde el tamaño de la alcantarilla (punto 1) a través del caudal de flujo (punto 2) y marca un punto en la primera escala (punto 3), esta es la relación de la cabeza de agua/altura de la alcantarilla (H_E / D), que se debe leer cuidadosamente.

$$H_E / D = 0,82$$

La carga de agua requerida, se determina multiplicando la lectura obtenida en el paso anterior. Este valor se para H_{Ei} (profundidad de la cabeza requerida por encima de la elevación de la entrada de control).

$$H_{Ei} = 0,82 * D = 0,82 * 1,0 = 0,820 \text{ m}$$

Figura 5.5 Nomograma para cálculo en flujo con control de entrada para tubería de metal corrugado, con muro cabezal.



f) A continuación se calculará, la depresión requerida (CAÍDA) de la sección de control en la entrada debajo del lecho de la corriente, a la cual debe localizarse; esta caída se obtiene como sigue:

$$\text{CAÍDA} = \text{HEi} - (\text{EL hd} - \text{EL i})$$

$$\text{CAÍDA} = 0,820 - (2045,97 - 2044,70) = -0,450 \text{ m}$$

Si la CAÍDA es positiva y mayor que se juzga para ser aceptable, seleccione otra configuración de la alcantarilla como por ejemplo tamaño, tipo de entrada, material, etc., y volver a empezar de nuevo los pasos.

Si la CAÍDA es negativa o cero, poner la CAÍDA igual a cero y proceder con el siguiente paso.

En nuestro caso no requerimos caídas (Caída = 0) por tener pendientes bajas, como también nuestra pendiente del conducto está acomodada al lecho del cauce.

g) La elevación de la cabeza de agua con control a la entrada será:

$$\text{EL hi} = \text{EL i} + \text{HEi}$$

$$\text{EL hi} = 2044,70 + 0,820 = 2045,52 \text{ m.s.n.m.}$$

h) El siguiente paso es proceder con los cálculos de control en la salida. A continuación introduciremos en la hoja de diseño, la altura de agua aguas abajo de la salida de la alcantarilla para el caudal de diseño, que en una primera instancia se procedió a su obtención.

También necesitamos determinar la profundidad crítica d_c , para el conducto seleccionado de $D = 1,0 \text{ m}$ y para un $Q = 0,958 \text{ m}^3/\text{s}$, este se puede obtener mediante ecuaciones, cartas elaboradas o con la ayuda de programas computacionales hidráulicos, entonces tenemos:

$$\text{Tirante crítico } d_c = 0,579 \text{ m}$$

Ahora se procederá a la obtención de la relación:

$$(d_c + D) / 2 = (0,579 + 1,0) / 2 = 0,790 \text{ m}$$

i) Seguidamente se determinará h_o que depende de la altura de agua a la salida:

En nuestro caso $h_s = 0,47 \text{ m}$, es menor que $D = 1,0 \text{ m}$, esto nos dice que la salida se encuentra no sumergida (ver el capítulo 2 control a la salida salidas no sumergidas), como $d_c = 0,790 \text{ m}$, es menor al diámetro; significa que la alcantarilla escurre llena,

en parte de su longitud entonces el valor de h_o será igual al mayor valor entre H_S y $(d_c + D)/2$.

$$h_o = 0,790 \text{ m}$$

En la siguiente celda se introduce el coeficiente de pérdida de entrada anteriormente escogida $k_e = 0.5$ de la tabla 5.5.

Tabla 5.3. Coeficientes de pérdida en la entrada.

| Tipo de Estructura y Características de la Entrada | | Coefficiente (ke) |
|---|--|-------------------|
| Tubos de Hormigón | Saliente del terraplén, extremo encajado (extremo ranurado) | 0,2 |
| | Saliente del terraplén, extremo cortado en escuadra | 0,5 |
| | Cabezal solo o cabezal y muros aleros | |
| | Tubería con extremo encajado (extremo ranurado) | 0,2 |
| | Borde en escuadra | 0,5 |
| | Redondeado (radio=1/2 D) | 0,2 |
| | Chaflanar para igualar la pendiente del talud | 0,7 |
| | Sección extrema que se iguala con el talud del terraplén | 0,5 |
| | Bordes biselados, biseles de 33,7° o 45° | 0,2 |
| Entrada con abocinado en los lados o en la pendiente | 0,2 | |
| Tubos de Metal Corrugado | Saliente del terraplén (sin cabezal) | 0,9 |
| | Cabezal o cabezal y muros con aleros con bordes cuadrados | 0,5 |
| | Chaflanado para igualar el talud del terraplén, talud revestido o sin revestir | 0,7 |
| | Sección extrema para igualar el talud del terraplén | 0,5 |
| | Bordes biselados, biseles de 33,7° o 45° | 0,2 |
| Entrada abocinada en los lados o en la pendiente | 0,2 | |
| En Cajón de Concreto Reforzado | Cabezal paralelo al terraplén (sin muros con aleros) | |
| | Borde en escuadra en 3 orillas | 0,5 |
| | Redondeado en 3 orillas radio de D/12 o B/12 o bordes biselados en 3 | 0,2 |
| | Muros con aleros de 30° a 75° respecto del cilindro | |
| | Borde en escuadra en la corona | 0,4 |
| | Borde de la corona redondeado radio de D/12 o con el borde superior | 0,2 |
| | Muro con alero de 10° a 25° respecto del cilindro | |
| | Borde e escuadra en la corona | 0,5 |
| Muro con aleros paralelos (prolongación de los lados) | | |
| Borde en escuadra de la corona | 0,7 | |
| Entrada abocinada en los lados o en la pendiente | 0,2 | |

j) Luego se procederá a calcular la carga HL mediante ecuaciones; no se utilizará los nomogramas, debido a que las escalas de longitudes de dichos nomogramas se encuentran fuera del rango, sólo toma en cuenta alcantarillas de longitudes mayores o iguales que 15,0 m, en nuestro caso todas nuestras longitudes son inferiores a 15 m, por lo que se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Radio Hidráulico (d = 0,579 m.)} = 0,263 \text{ m}$$

$$\text{Área (d = 0,579 m.)} = 0,575 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidad promedio} = Q / A = 0,958 / 0,575 = 1,665 \text{ m/s}$$

$$HL = (1 + k_e + (2 * g * n^2 * La) / R^{1,33}) * (V^2 / 2 * g)$$

$$HL = (1 + 0,5 + (2 * 9,81 * 0,024^2 * 10,98) / 0,263^{1,33}) * (1,665^2 / 2 * 9,81)$$

$$HL = 0,316 \text{ m}$$

Nota: HL es la pérdida de energía a través de la alcantarilla, abarca la pérdida por entrada, fricción y pérdidas de salida. El radio hidráulico puede ser obtenido mediante ecuaciones, o con ayuda de programas computacionales.

k) El siguiente paso es calcular la elevación de la cabeza de agua con control a la salida.

$$EL_{ho} = EL_o + HL + h_o$$

$$EL_{ho} = 2044,57 + 0,316 + 0,790 = 2045,68 \text{ m.s.n.m.}$$

$$EL_{ho} = 2045,68 \geq EL_i = 2044,70$$

Si la elevación de la cabeza de agua con control a la salida excede la elevación de la cabeza de agua de diseño, se debe seleccionarse una nueva configuración de la alcantarilla y repetir el proceso.

A continuación se procede a elegir el valor mayor, entre la elevación de agua a la entrada y salida, esto nos indica o significa que gobierna el control de mayor valor.

$$\text{Control a la entrada: } EL_{hi} = 2045,52 \text{ m.s.n.m.}$$

$$\text{Control a la Salida: } EL_{ho} = 2045,68 \text{ m.s.n.m.}$$

La elevación de diseño será 2045,68 es el que gobierna (Control a la salida), para la cual se determinará la velocidad de salida.

Para la obtención de la velocidad de salida para control a la salida, se puede decir que se toma como velocidad de salida, a la profundidad correspondiente a la salida. Para nuestro caso:

$$d = 0,790 \text{ m.}$$

$$V_{salida} = 1,779 \text{ m/s}$$

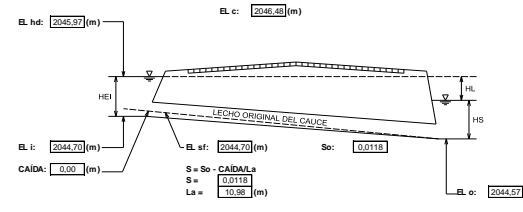
La velocidad se encuentra dentro del rango establecido en la tabla 5.4 (velocidades máximas admisibles (m/s) en canales no revestidos). Esta velocidad puede ser obtenida mediante ecuaciones o con la ayuda de programas hidráulicos.

Tabla 5.4. Velocidades máximas admisibles (m/s) en canales no revestidos.

| Tipo de Terreno | Flujo Permanente (m/s) | Flujo Intermitente (m/s) |
|--|------------------------|--------------------------|
| Arena Fina (no coloidal) | 0,75 | 0,75 |
| Arcilla Arenosa (no coloidal) | 0,75 | 0,75 |
| Arcilla Limosa | 0,90 | 0,90 |
| Arcilla Fina | 1,00 | 1,00 |
| Ceniza Volcánica | 1,20 | 1,00 |
| Grava Fina | 1,50 | 1,20 |
| Arcilla Dura (coloidal) | 1,80 | 1,40 |
| Material Graduado (no coloidal) | | |
| Desde Arcilla a Grava | 2,00 | 1,50 |
| Desde Limo a Grava | 2,10 | 1,70 |
| Grava | 2,30 | 1,80 |
| Grava Gruesa | 2,40 | 2,00 |
| Desde Grava a Piedras (bajo 15cm) | 2,70 | 2,10 |
| Desde Grava a Piedras (sobre 15cm) | 3,00 | 2,40 |

A continuación en la figura 5.6., se muestra la hoja de formato de cálculo completo y terminado con todas las diferentes configuraciones seleccionadas y calculadas todas siguiendo el mismo procedimiento para la alcantarilla N°1. El análisis de cada alcantarilla siguiendo este método se ve en detalle en el Anexo 06.

Tabla 5.4. Formato de diseño completado.

| PROYECTO: <input type="text" value="PROYECTO TESIS"/> <input type="text" value="TRAMO 'PUENTE UNION EUROPEA - CARACHIMAYO'"/> | | ESTACION: <input type="text" value="0+190.24"/> HOJA: <input type="text" value="1"/> DE <input type="text" value="16"/> | FORMATO PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS DISEÑADOR/FECHA: <input type="text"/> / <input type="text"/> REVISADOR/FECHA: <input type="text"/> / <input type="text"/> | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|----------------------------------|---------------------|-------|--------|----------|-----------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|--|--------------------------------|-----------------------------|---|
| DATOS HIDROLÓGICOS: MÉTODO: <input type="text" value="RACIONAL"/> ÁREA DE DRENAJE: <input type="text" value="0.0168"/> (km ²) PENDIENTE DEL CAUCE: <input type="text" value="8.64"/> (%) FORMA DEL CANAL: <input type="text" value="IRREGULAR"/> RUTA DELAS AVENIDAS: <input type="text"/> OTROS: <input type="text"/> | | EL. hd: <input type="text" value="2045.97"/> (m) EL. c: <input type="text" value="2046.48"/> (m)  EL. lf: <input type="text" value="2044.70"/> (m) EL. sf: <input type="text" value="2044.70"/> (m) So: <input type="text" value="0.0118"/> CAIDA: <input type="text" value="0.00"/> (m) S = So - CAIDA/La S = <input type="text" value="0.0118"/> La = <input type="text" value="10.96"/> (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FLUJOS DE DISEÑO ALTURA DE AGUA EN LA DESCARGA: <table border="1"> <thead> <tr> <th>PERIODO DE RETORNO (años)</th> <th>FLUJO (m³/s)</th> <th>HS (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15 años</td> <td>0.896</td> <td>0.438</td> </tr> <tr> <td>25 años</td> <td>0.958</td> <td>0.470</td> </tr> <tr> <td>50 años</td> <td>1.081</td> <td>0.512</td> </tr> </tbody> </table> | | PERIODO DE RETORNO (años) | FLUJO (m ³ /s) | HS (m) | 15 años | 0.896 | 0.438 | 25 años | 0.958 | 0.470 | 50 años | 1.081 | 0.512 | | | | | | |
| PERIODO DE RETORNO (años) | FLUJO (m ³ /s) | HS (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 años | 0.896 | 0.438 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 años | 0.958 | 0.470 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 años | 1.081 | 0.512 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIÁMETRO (m) | MATERIAL FORMA | ENTRADA (ke) | COEFICIENTE (n) | FLUJO TOTAL Q(m ³ /s) | FLUJO POR CAÑO Q(C) | HE(2) | HEI(3) | CAIDA(4) | EL. HI(4) | HS(5) | dc(6) | dc+D(7) | ho(8) | ke(9) | HL(7) | EL. HO(8) | ELEVACION DE LA CABEZA DE AGUA | VELOCIDAD A LA SALIDA (m/s) | OBSERVACIONES |
| 1.0 | Circular CMP Cabezal | 0.5 | 0.024 | 0.958 | 0.958 | 0.83 | 0.830 | -0.440 | 2045.53 | 0.470 | 0.579 | 0.790 | 0.790 | 0.5 | 0.316 | 2045.68 | 2045.68 | 1.779 | Elevación superior a lo admisible, probar otra dimensión. |
| 1.0 | Circular CMP Cabezal Bordes Biselados 45° | 0.2 | 0.024 | 0.958 | 0.958 | 0.80 | 0.800 | -0.470 | 2045.50 | 0.470 | 0.579 | 0.790 | 0.790 | 0.2 | 0.273 | 2045.63 | 2045.63 | 1.779 | Elevación superior a lo admisible, probar otra dimensión. |
| 0.9 | Circular CMP Cabezal | 0.5 | 0.024 | 0.958 | 0.958 | 1.16 | 1.044 | -0.226 | 2045.74 | 0.470 | 0.591 | 0.746 | 0.746 | 0.5 | 0.359 | 2045.67 | 2045.74 | 1.824 | Elevación inferior a lo admisible. OK |
| 0.9 | Circular CMP Cabezal Bordes Biselados 45° | 0.2 | 0.024 | 0.958 | 0.958 | 1.02 | 0.918 | -0.352 | 2045.62 | 0.470 | 0.591 | 0.746 | 0.746 | 0.2 | 0.311 | 2045.63 | 2045.63 | 1.824 | Elevación superior a lo admisible, probar otra dimensión. |
| 0.9 | Circular CMP Cabezal | 0.5 | 0.024 | 1.081 | 1.081 | 1.37 | 1.233 | -0.037 | 2045.93 | 0.512 | 0.626 | 0.763 | 0.763 | 0.5 | 0.508 | 2045.84 | 2045.93 | 1.897 | Verificación: Elevación inferior a lo admisible. OK |
| (1) USE ALTO H PARA LAS ALCANTARILLAS TIPO CAJÓN. (2) HEI = HE - HEB DE LAS CARTERAS DE DISEÑO PARA LAS ALCANTARILLAS TIPO CAJÓN. CAIDA = HE - (EL. HI - B. SF). LA CAIDA ES CERO PARA LAS ALCANTARILLAS CON PENDIENTE. (4) EL. HI = HE + EL. I (DE LA SECCIÓN DE CONTROL EN LA ENTRADA). (5) HS CON BASE EN EL CONTROL. AGUAS ABAJO O LA PROFUNDIDAD DE FLUJO EN EL CANAL. (6) ho = HS + (d + D)/2 (EL QUE SEA MAYOR). (7) HL = (1 + Ke) * (19.63 m ² /L ³) * R ^{1.33} / V ^{2.22} (8) EL. HO = Do + HL + ho | | | | | | | | | | | | | | | | ALCANTARILLA SELECCIONADA TAMAÑO: <input type="text" value="DIÁMETRO 900mm"/> FORMA: <input type="text" value="CIRCULAR CMP (CHAPA CORRUGADA)"/> MATERIAL: <input type="text" value="METAL"/> n: <input type="text" value="0.024"/> ENTRADA: <input type="text" value="MUROS CON ALEROS 30° A 75° CABEZAL (k = 0.5)"/> | | | |

5.3 EVALUACIÓN DE LAS ALCANTARILLAS

Se procede a evaluar las alcantarillas en campo tomando sus parámetros y/o características más relevantes:

- Tipo de alcantarilla.
- Características físicas.
- Características o condiciones estructurales.
- Características o condiciones hidráulicas.
- Relevamiento topográfico realizado con estación total.
- Tipo de arrastre de los materiales.

Las evaluaciones de tipo estructural: Se las hace calificando las condiciones de la estructura, su estado y funcionamiento que esta cumple. La calificación de la condición estructural se la hace en función a un digesto.

Las evaluaciones de tipo hidráulico: Se las hace calificando las condiciones, características, verificando el funcionamiento, si la alcantarilla las necesidades para las cuales fue diseñado. Otro aspecto que se califica es si es afectado por factores externos como la erosión y el embancamiento. La calificación de la condición estructural se la hace en función a un compendio.

Toda esta información va adjunta en una sola de evaluación de condición, los resultados de esa evaluación hecha a cada alcantarilla se ve en el Anexo 02.

Posteriormente en gabinete, se recomienda para controlar los eventos lluviosos acciones o medidas como se señala a continuación:

- Obras de control como: deflectores metálicos, jaulas de madera, jaulas metálicas para controlar el arrastre de materiales.
- Obras de protección como: gaviones de jaula tipo caja en lugares próximos a las alcantarillas y donde se ha observado que eventos lluviosos han afectado la plataforma.
- La construcción parcial de un elemento donde se recomienda la construcción de plateas de hormigón ciclópeo para mejorar la velocidad de escurrimiento en los conductos y evitar la erosión en las fundaciones.
- Así mismo se recomienda el mantenimiento y reparación de algunas alcantarillas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

De la aplicación práctica realizada se puede concluir lo siguiente:

- Según la evaluación de condición hidráulica las obras de arte N°10, N°12 y N°14 tienen una calificación de 4B, por lo que se entiende que tienen un embanque del 25%.
- Las obras de arte N°2 y N°5 resultado de la evaluación de condición hidráulica presentan un valor de 3R, lo que representa una profundidad de erosión mayor o igual a los dientes de la platea.
- Presentan un valor de calificación de condición hidráulica de 4R las obras de arte N°1, N°3, N°6, N°8, N°9, M°11, N°13, N°15 y N°16, lo que nos representa que la profundidad de la erosión es menor o igual a los dientes de la platea.
- Las obras de arte N°4 y N°7, presenta un valor de condición hidráulica de 4 (badenes), lo que simboliza que la profundidad de la erosión es menor o igual a los dientes de la losa.
- Las obras de arte N°1, N°4, N°5, N°6, N°7, N°8 y N°9 son calificadas con el valor de 4 (caños de chapa cincada y badenes) como resultado de la evaluación estructural, lo que nos indica que estas están en regulares condiciones estructuralmente.
- Las obras de arte N°2, N°3, N°10, N°11, N°12, N°13, N°14, N°15 y N°16 presentan una calificación de valor 3 (caños de chapa cincada y badenes) según la evaluación de condición estructural, lo cual significa que están en malas condiciones dentro de lo estructuralmente hablando.
- Se analizó las alcantarillas verificando si el diseño es el correcto, para ello se diseñó en función metodología expresada por la Federal Highway.
- Verificando según el rediseño podemos concluir que once de las alcantarillas del total de las dieciséis están subdimensionadas para el caudal que circula por ellas, como se muestra a continuación:

| Nº Obra de Arte | Progresiva | Tipo | Diámetro actual (mm) | Diámetro rediseño (mm) |
|-----------------|------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| 1 | 0+190,24 | Caño de Chapa cincada | 900 | 900 |
| 2 | 1+107,24 | Caño de Chapa cincada | 900 | 2 x 900 |
| 3 | 2+462,54 | Caño de Chapa cincada | 900 | 1000 |
| 4 | 2+826,16 | Badén | ----- | ----- |
| 5 | 4+020,76 | Caño de Chapa cincada | 900 | 2 x 900 |
| 6 | 4+289,60 | Caño de Chapa cincada | 900 | 1000 |
| 7 | 4+478,84 | Badén | ----- | ----- |
| 8 | 5+073,60 | Caño de Chapa cincada | 900 | 1000 |
| 9 | 5+185,76 | Caño de Chapa cincada | 900 | 900 |
| 10 | 5+604,24 | Caño de Chapa cincada | 900 | 1000 |
| 11 | 5+740,08 | Caño de Chapa cincada | 900 | 1000 |
| 12 | 6+007,72 | Caño de Chapa cincada | 900 | 900 |
| 13 | 6+102,52 | Caño de Chapa cincada | 900 | 2 x 900 |
| 14 | 6+834,64 | Caño de Chapa cincada | 900 | 2 x 1000 |
| 15 | 7+206,12 | Caño de Chapa cincada | 2 x 900 | 2 x 1000 |
| 16 | 7+423,80 | Caño de Chapa cincada | 900 | 2 x 900 |

- Es deseable diseñar con alas con ángulos de 30°, ya que los valores mayores no aumentan la eficiencia hidráulica, pero si incrementa los costos de construcción.
- Además los muros de ala a 30° presentan una mejor vista estética de la que pueden ofrecer ángulos mayores.
- Los muros de ala presentan la ventaja, en el caso de construcción de plateas adicionales en los extremos del conducto de conformar una unidad funcional de gran eficiencia hidráulica.
- Es fundamental que en la etapa de trazado del diseño de carreteras, se analicen en detalle las problemáticas que implica la ubicación de las alcantarillas, especificando anteproyectos en todos los casos en que la magnitud del problema así lo requiera.
- Diseñar las alcantarillas con luces múltiples no es aconsejable en lo que se refiere al aspecto hidráulico, ya que bajo ciertas condiciones, se produce un mayor escurrimiento en una de las luces, mientras que en otras disminuye hasta valores mínimos. Esto ocasiona un aumento reducido de la velocidad del agua provocando erosiones en el lecho, este efecto ocurre con mayor intensidad en las baterías de baños.

- Las anteriores consideraciones aconsejan no diseñar alcantarillas de luces múltiples, cuando se varía el ángulo de esviaje del cauce, o cuando el escurrimiento de las aguas presentan elevadas velocidades y/o arrastre de materiales.
- El dar esviaje a un conducto implica un mayor costo de construcción (incrementándose la longitud del conducto y el volumen de los muros), si bien este mayor costo no es significativo para esviajes moderados.
- Toda modificación del cauce natural debe ser realizada con criterio prudente, puesto que la alteración de un escurrimiento de agua puede ocasionar problemas en un posterior funcionamiento hidráulico de la obra de arte.
- En el diseño de alcantarillas no se deben adoptar límites admisibles muy conservativos, ya que las velocidades se calculan con caudales de diseño avaluados para avenidas de máximo con elevados tiempos de recurrencia y que responden a aguaceros de corta duración. Esto hace que un proceso erosivo emergente de estas condiciones este relegado a cortos lapsos de tiempo diseminados, además entre periodos de estiaje con depósitos de material a lo largo de la vida de útil de conducto.
- Bajo ningún concepto se debe admitir la fundación de caños de hormigón sobre terrenos de relleno.
- Si el diseño de una sección de alcantarilla provoca a la salida del conducto, velocidades que ocasionan procesos erosivos, es necesario diseñar obras complementarias que controlen tales procesos.

6.2 RECOMENDACIONES

- En la recopilación de datos e información sobre las alcantarillas a diseñar se recomienda que sea en lo posible la mayor cantidad.
- Proyectar, en lo posible alcantarillas que funcionen con control a la entrada.
- Verificar que la velocidad de escurrimiento en el interior del conducto e inmediatamente aguas abajo del mismo se encuentre en rango de velocidades admisibles.

- No diseñar secciones con medidas inferiores a 1,0 m en caso de secciones tipo cajón rectangular 1,0 x 1,0 m y en caso de tuberías con $D = 1,0$ m.
- Proyectar secciones circulares para reducidos caudales de escurrimiento y secciones rectangulares para elevados caudales.
- Es deseable que ningún conducto funcione con presión.
- El ángulo de cruce con cursos de agua permanentes no debe ser alterado, diseñando el conducto con su esviaje existente.
- En el método de los nomogramas, se deberá tener mucha más atención en la manipulación, selección y lectura de los nomogramas.
- Seleccionar adecuadamente los tipos de nomogramas que correspondan al tipo de configuración seleccionada de acuerdo al número de nomograma, dada en la parte superior de las hojas.
- Tratar que las lecturas de las escalas en los nomogramas sean con la mayor precisión posible.
- La alineación cuidadosa de la línea recta que une las escalas es el requisito para obtener los resultados buenos en el nomograma con control a la salida.
- En la escala de caudales ya sea con control a la entrada o salida, se deberá poner atención con los tipos de secciones seleccionadas porque para alcantarillas circulares sólo se lee el caudal de descarga (Q), mientras para las alcantarillas de tipo cajón el caudal de descarga es por anchura del conducto usado (Q/B).
- Para alcantarillas con longitudes mayores a 15,0 m la obtención de HL, se puede realizar mediante los nomogramas con control a la salida. Si las longitudes de las alcantarillas son inferiores a los 15,0 m. se deberán emplear las ecuaciones correspondientes.
- En cauces con importantes arrastres de sólidos (piedras, gravas, arbustos, etc.), de preverse a la entrada obras de control de los materiales arrastrados, de manera de evitar obstrucciones en el conducto.
- Cuando la velocidad del escurrimiento provoque erosiones en el lecho del cauce a la salida del conducto, deben preverse obras complementarias a los muros de manera de controlar estos procesos. Estas obras pueden consistir en platea integrada con los muros, saltos, rápidos, disipadores de energía, etc.

- Los materiales retenidos durante el funcionamiento de la obra de rejillas en la entrada de las alcantarillas, deben ser oportunamente retirados, de manera de permitir obstrucciones ni desvíos en la corriente aguas arriba de la alcantarilla que pueden provocar erosiones en los terraplenes adyacentes .
- Por razones de estética y/o control de la erosión que podría producir el escurrimiento de las aguas provenientes del coronamiento, suelen revestirse los taludes de los terraplenes en adyacencia del conducto, pero estos revestimientos no cumplen funciones estructurales ni hidráulicas.
- En los dispositivos de control, las chimeneas el terminal superior se suele cubrir con un emparrillado para prevenir el ingreso de material flotante. El espaciamiento de las barras debería ser comprendido entre el medio y el tercio del diámetro de la alcantarilla. Es recomendable que este emparrillado sea removible para permitir el acceso para limpieza.
- La construcción del terraplén en las proximidades de los caños debe realizarse con suelo o material granular fino, cuidadosamente colocado y compactado alternadamente a ambos lados del conducto, en capas de 0,15 m de espesor.
- No se recomienda pendientes superiores al 10%, sin prever obras complementarias que controlen la erosión que pueda provocar aguas abajo la elevada velocidad de escurrimiento.
- Dado su deficiente comportamiento hidráulico no se estima aconsejable el diseño de baterías de caños en cauces con fuertes pendientes o con esviajes considerables.