

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES.-

Uno de los elementos que causa mayores problemas a los caminos es el agua, pues en general disminuye la resistencia de los suelos, presentándose así fallas en terraplenes, cortes y superficies de rodamiento. Lo anterior obliga a construir el drenaje de tal forma que el agua se aleje a la mayor brevedad posible de la obra. En consecuencia, podría decirse que un drenaje bien diseñado y construído se constituye en el alma de los caminos.

Una de las dificultades más frecuentes en los proyectos viales, es sin duda el diseño de drenaje; debido a la falta de información hidrológica que permite la aplicación de los métodos convencionales para la estimación de caudales que darán lugar al diseño de las secciones para las obras de drenaje especialmente para las alcantarillas.

El sistema de drenaje en caminos departamentales, municipales y vecinales es de fundamental importancia, si bien son caminos no pavimentados y de menor tráfico, su importancia radica precisamente en el elevado costo de mantenimiento necesario para lograr la transitabilidad de los mismos durante todo el año sin ocasionar perjuicios a los usuarios.

La falta de estaciones climatológicas y/o meteorológicas que realicen el registro histórico de las variables hidrológicas en nuestro país ha contribuido a que los caminos colapsen por el inadecuado diseño del sistema de drenaje, siendo este factor el más sensible en el diseño de carreteras, razón por la que se plantea como alternativa la aplicación de un método expeditivo que no dependa de la intensidad de precipitación para el dimensionamiento de las alcantarillas.

2. ANTECEDENTES.-

En la actualidad en nuestro país, la mayoría de los proyectos de diseño de carreteras departamentales, municipales y vecinales tropiezan con el inconveniente de no contar con la información hidrológica necesaria para realizar un estudio hidrológico que permita estimar los caudales para diferentes periodos de retorno dificultando el diseño

de un adecuado sistema de drenaje que proporcione estabilidad en la transitabilidad de un tramo o de un camino diseñado.

Se dispone de muy pocas estaciones meteorológicas en nuestro departamento, algunas se han cerrado en forma paulatina y otras nuevas que recientemente fueron instaladas no cuentan con el número de años de registro suficientes para realizar algún tipo de pronóstico.

A continuación se presenta un resumen de las estaciones en el Departamento de Tarija, el cual nos muestra la realidad de la carencia de datos históricos en muchas de las zonas de nuestro departamento.

Cuadro 1: Estaciones Pluviométricas en el Departamento de Tarija.

N°	Estacion	Latitud S	Longitud W	Altura msnm	Tipo de Estación	Años Reportados	Cant. años Registro
1	Alarache	22°15'00"	64°35'00"	1050	Pluviométrica	1996 - 2007	12
2	Algarrobillas	21°51'20"	63°17'38"	468	Pluviométrica	1977 - 2009	33
3	Alto de Cajas	21°18'22"	64°28'06"	2422	Pluviométrica	2005 - 2009	5
4	Balapuca	22°29'28"	64°27'50"	577	Pluviométrica	2005 - 2010	6
5	Berety	21°26'42"	64°02'17"	1103	Pluviométrica	1979 - 2010	32
6	Carrizal	21°26'19"	65°14'22"	2447	Pluviométrica	2005 - 2009	5
7	Crevaux	21°49'29"	62°55'03"	292	Pluviométrica	2005 - 2009	5
8	El Huayco	21°17'35"	64°15'15"	1426	Pluviométrica	1978 - 2009	32
9	El Mezquinado	21°20'45"	63°01'42"	459	Pluviométrica	2005 - 2008	4
10	El Puente	21°14'18"	65°12'29"	2320	Pluviométrica	2004 - 2009	6
11	La Colmena	21°40'10"	64°10'80"	1113	Pluviométrica	2002 - 2009	8
12	Leon Cancha	21°10'42"	64°42'55"	2729	Pluviométrica	1976 - 2010	35
13	Machigua	20°57'30"	64°08'31"	752	Pluviométrica	2005 - 2010	6
14	Narvaez	21°24'23"	64°17'06"	1755	Pluviométrica	1978 - 2009	32
15	Paicho Centro	21°08'43"	64°57'16"	2570	Pluviométrica	2005 - 2008	4
16	Palo Marcado	21°27'17"	63°06'29"	334	Pluviométrica	2005 - 2009	5
17	Palos Blancos	21°24'54"	63°46'53"	763	Pluviométrica	1975 - 2010	36
18	Pinos Sud	21°44'00"	64°53'00"	2100	Pluviométrica	1972 - 2010	39
19	Puente Aruma	20°54'56"	64°06'41"	636	Pluviométrica	2005 - 2009	5
20	Puerto Margarita	21°11'26"	63°45'41"	495	Pluviométrica	1975 - 2009	35
21	Quebrada de Cajas	21°09'38"	64°24'12"	1072	Pluviométrica	2005 - 2009	5
22	Sachapera	21°39'38"	63°33'02"	619	Pluviométrica	1977 - 2009	33
23	Saladito Centro	21°19'08"	64°07'22"	857	Pluviométrica	2005 - 2009	5
24	San Josecito	21°08'51"	64°14'05"	821	Pluviométrica	1976 - 2009	34
25	San Luis de Palqui	21°33'38"	65°08'06"	3321	Pluviométrica	2005 - 2009	5
26	San Telmo	22°35'00"	64°14'00"	450	Pluviométrica	2005 - 2010	6
27	Tarupayo	21°19'41"	63°57'18"	786	Pluviométrica	2005 - 2009	5
28	Tiguipa	21°00'02"	63°19'38"	515	Pluviométrica	2005 - 2009	5
29	Timboy	21°10'27"	64°03'59"	770	Pluviométrica	1976 - 2009	34
30	Tojo	21°49'08"	65°19'35"	2643	Pluviométrica	1975 - 2009	35
31	Tomatitas	21°29'31"	64°45'40"	1928	Pluviométrica	1999 - 2007	9
32	Villa Montes P. Bombo	21°15'40"	63°30'12"	383	Pluviométrica	2005 - 2010	6
33	Yunchara	21°49'33"	65°13'43"	3580	Pluviométrica	2005 - 2008	4

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del SENAMHI Tarija.

Cuadro 2: Estaciones Climatológicas en el Departamento de Tarija.

N°	Estacion	Latitud S	Longitud W	Altura msnm	Tipo de Estación	Años Reportados	Cant. años Registro
1	Aeropuerto - Tarija	21°32'48"	64°42'39"	1849	Climatologica	1954 - 2009	56
2	Aguaraycito	21°23'24"	63°24'44"	396	Climatologica	1991 - 2009	19
3	Bermejo - Aeropuerto	22°46'15"	64°18'42"	385	Climatologica	1998 - 2009	12
4	Calamuchita	21°42'19"	64°37'08"	1681	Climatologica	2007 - 2009	3
5	Campanario	21°30'45"	64°58'32"	3460	Climatologica	1988 - 2010	23
6	Campanario Automatica	21°30'45"	64°58'32"	3460	Climatologica	2009 - 2009	1
7	Cañas	21°54'08"	64°51'03"	2078	Climatologica	1977 - 2010	34
8	Caraparí	21°49'28"	63°44'48"	793	Climatologica	2006 - 2009	4
9	Cenavit	21°41'31"	64°39'29"	1730	Climatologica	1989 - 2010	22
10	Cenavit Automatica	21°41'31"	64°39'29"	1730	Climatologica	2007 - 2009	3
11	Charaja	21°47'21"	64°46'37"	1884	Climatologica	2009 - 2009	1
12	Chocloca	21°45'00"	64°44'00"	1800	Climatologica	1975 - 2010	36
13	Chocloca Automatica	21°45'00"	64°44'00"	1800	Climatologica	2009 - 2009	1
14	Coimata	21°29'00"	64°47'00"	2000	Climatologica	1980 - 2010	31
15	Coimata Automatica	21°29'00"	64°47'00"	2000	Climatologica	2008 - 2009	2
16	El 9 Bermejo	22°46'15"	64°18'42"	387	Climatologica	2007 - 2009	3
17	El Molino SEDAG	21°23'19"	64°56'49"	3387	Climatologica	2006 - 2009	4
18	El Portillo	21°34'44"	64°39'32"	1844	Climatologica	2006 - 2009	4
19	El Rancho	21°26'01"	64°45'04"	1988	Climatologica	2007 - 2009	3
20	El Tejar	21°32'36"	64°43'16"	1859	Climatologica	1970 - 2010	41
21	Emborozu	22°16'01"	64°33'16"	898	Climatologica	1975 - 2010	36
22	Entre Rios	21°30'11"	64°10'14"	1260	Climatologica	1973 - 2010	38
23	Ibibobo	21°32'30"	62°59'50"	398	Climatologica	2006 - 2009	4
24	Itau	21°42'15"	63°52'07"	970	Climatologica	1999 - 2009	11
25	Juntas	21°48'37"	64°47'51"	1882	Climatologica	1975 - 2010	36
26	La Mamora	22°10'41"	64°39'52"	1233	Climatologica	2008 - 2010	3
27	La Merced	22°01'29"	64°40'36"	1509	Climatologica	1999 - 2010	12
28	Las Barrancas	21°30'48"	64°44'40"	1924	Climatologica	2006 - 2009	4
29	Palmar Grande	21°31'53"	63°26'31"	464	Climatologica	1978 - 2009	32
30	San Andres	21°37'24"	64°48'54"	1987	Climatologica	1975 - 2010	36
31	San Andres Automatica	21°37'24"	64°48'54"	1987	Climatologica	2009 - 2009	1
32	San Jacinto Sud	21°36'37"	64°43'12"	1820	Climatologica	1975 - 2010	36
33	Saykan - Las Perulas	21°42'57"	64°05'44"	1356	Climatologica	2001 - 2009	9
34	Sella Quebradas	21°23'11"	64°40'52"	2145	Climatologica	1986 - 2010	25
35	Tomayapo Pueblo	21°16'06"	65°02'42"	2734	Climatologica	1981 - 2010	30
36	Trancas	21°18'29"	64°48'57"	2198	Climatologica	1984 - 2010	27
37	Tucumillas	21°27'40"	64°49'52"	2557	Climatologica	1977 - 2010	34
38	Turumayo	21°33'24"	64°46'42"	1978	Climatologica	1999 - 2010	12
39	Villa Montes - Aeropuerto	21°15'17"	63°24'27"	403	Climatologica	1998 - 2009	12
40	Yacuida - Aeropuerto	21°56'58"	63°38'53"	645	Climatologica	1958 - 2010	53
41	Yesera Norte	21°22'20"	64°33'03"	2277	Climatologica	1977 - 2009	33
42	Yesera Sur	21°28'02"	64°33'30"	2092	Climatologica	2002 - 2009	8
43	Yesera Sur Automatica	21°28'02"	64°33'30"	2092	Climatologica	2008 - 2009	2

Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del SENAMHI Tarija.

Estos aspectos han contribuido a buscar una metodología alternativa para el diseño de alcantarillas, de manera que garanticen un área hidráulica suficiente y segura sin que sea exigente en los datos de entrada, vale decir que no dependa de la intensidad de precipitación ni de la estimación de caudales y nos permita obtener secciones de

alcantarillas a través de un procedimiento relativamente sencillo y práctico pero al mismo tiempo confiable en cuanto a resultados.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general es realizar el estudio sobre la utilización de una metodología expeditiva para el diseño de alcantarillas en carreteras departamentales, municipales y vecinales donde no se cuente con información hidrológica que permita la aplicación de métodos convencionales, a partir de ello establecer la posible aplicabilidad de la metodología en nuestro medio.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dentro de los objetivos específicos tenemos los siguientes:

- Analizar las características de las alcantarillas.
- Estudiar los principios sobre los que se basan los métodos de cálculo y dimensionamiento de alcantarillas.
- Describir el método de Talbot, como método expeditivo en el cálculo y dimensionamiento de alcantarillas.
- Aplicar el método de Talbot, en el Departamento de Tarija definido como área de estudio, para lo cual se ha identificado tres zonas con diferentes condiciones climatológicas, estas zonas son:
 - Zona Alta.
 - Zona del Valle Central.
 - Zona del Chaco.

Para desarrollar esta aplicación se identificaron 90 cuencas, 30 en cada zona de estudio.

- Comparar los resultados obtenidos por Talbot en las 90 cuencas de las tres zonas del Departamento con los datos obtenidos mediante métodos convencionales como ser el método racional y el método del hidrograma unitario de Mockus.
- Obtener los coeficientes de Talbot corregidos para cada zona del área de estudio.
- Aplicar el método de Talbot en tramos viales ubicados en las tres zonas del área de estudio (Zona alta, Valle Central y Chaco).

Los tramos carreteros elegidos son:

1. Zona Alta: Iscayachi – Chorcoya Avilés.
2. Zona del Valle Central: San Andrés – Bella Vista.
3. Zona del Chaco: Quebrada Las Vacas – Salinas.

Estos tramos se eligieron en virtud a que se dispone de los estudios a Diseño Final, aspecto que nos permitirá comparar los resultados para así establecer las conclusiones a cerca de la aplicabilidad del método de Talbot en el Departamento de Tarija.

- Comparar los resultados obtenidos con el Método de Talbot, con los obtenidos mediante el método racional e Hidrograma Unitario de Mockus, para los tramos carreteros (San Andrés – Bella Vista, Iscayachi – Chorcoya Avilés y Quebrada Las Vacas – Salinas).
- En base a la comparación de los resultados obtenidos con Talbot y con los métodos convencionales para cada uno de los tramos carreteros, establecer conclusiones y recomendaciones.

Se propone mostrar la viabilidad del método expeditivo en el área definida de estudio, aplicando el mencionado método en tres zonas de Tarija de condiciones diferentes, en cuanto se refiere a topografía, hidrografía y clima.

4. ALCANCE DE TRABAJO.-

El alcance definido para el presente trabajo de Tesis de Grado es el siguiente:

- **Introducción:** En esta parte, se realiza la introducción al tema, presentando los antecedentes y planteando los objetivos. Se presenta el alcance de trabajo y la metodología de estudio utilizada para el desarrollo del presente proyecto de grado.
- **Capítulo 1.- Características generales de las alcantarillas:** En este capítulo se presenta una descripción de las alcantarillas, su tipología, clasificación. Se describen tres procedimientos generales para el dimensionamiento de alcantarillas que son los siguientes:
 - Por Comparación.
 - Determinación directa del área hidráulica de la alcantarilla.
 - Determinación del área hidráulica en base a una previa estimación de caudales.
- **Capítulo 2.- Metodología expeditiva para el cálculo de alcantarillas:** Consiste en la descripción detallada del Método de Talbot, los principios del método, los parámetros que se usan para su aplicación, se detalla el procedimiento de cálculo y finalmente se muestran sus ventajas y desventajas.
- **Capítulo 3.- Validación y Aplicación del método expeditivo:** Este capítulo es el más importante, porque en él se aplica la metodología expeditiva planteada en los capítulos anteriores para el diseño de las alcantarillas de los tramos definidos en el área de estudio.

Se aplica el Método de Talbot, en las 90 cuencas identificadas en las tres zonas del área de estudio (Zona Alta, Valle Central y Chaco).

Con el objetivo de validar el método se calcula los caudales para 90 cuencas mediante dos métodos convencionales como son: el método racional y el método del Hidrograma Unitario de Mockus; posteriormente comparar resultados con los obtenidos mediante Talbot, con el propósito de evaluar el comportamiento del método respecto a la variación de la precipitación en las tres diferentes zonas.

Se realiza la comparación de las secciones hidráulicas obtenidas mediante los métodos convencionales (Racional e Hidrograma Unitario de Mockus) y las áreas obtenidas con la aplicación de Talbot. Esta comparación nos permite realizar una corrección a los coeficientes (C) de Talbot, para que sean estos últimos los que se apliquen en el dimensionamiento de alcantarillas en los tres tramos elegidos dentro del área de estudio.

Con esta corrección realizada al coeficiente (C) de Talbot, se puede generalizar la aplicación del método en zonas de similares características, para lo cual se realiza el dimensionamiento de las alcantarillas de los tres tramos elegidos en cada zona del área de estudio.

Para cada uno de los tramos identificados se presenta su ubicación, descripción de las características climatológicas, topográficas, resumen de alcantarillas dimensionadas con métodos convencionales y finalmente se realiza el diseño de las mismas aplicando el Método de Talbot.

Esta aplicación nos permitirá establecer las conclusiones sobre la validación del método en nuestro medio, que se ha definido como el área de estudio del presente trabajo.

En base a las conclusiones obtenidas, se plantearán recomendaciones orientadas a la aplicabilidad del método de Talbot dentro del Departamento.

- **Capítulo 4.- Conclusiones y Recomendaciones:** Luego de comparar los diseños realizados por métodos convencionales (Racional e Hidrograma Unitario de Mockus) y por el Método expeditivo de Talbot, se establecen las conclusiones emergentes de dicha comparación.

Así mismo en este capítulo, se plantean recomendaciones respecto a la utilización del Método expeditivo de Talbot, las mismas que permiten verificar el cumplimiento del objetivo general como de los objetivos específicos del proyecto de tesis de grado, planteados en la introducción.

5. METODOLOGÍA DE ESTUDIO.-

La metodología empleada para el presente proyecto de tesis de grado es la siguiente:

En base a la bibliografía específica relacionada al diseño de drenaje en carreteras, se recabó la información concerniente a las alcantarillas, su clasificación, sus fundamentos teóricos y los procedimientos para su dimensionamiento.

Se estudiaron tres procedimientos para el dimensionamiento de alcantarillas.

Se describió a detalle el Método de Talbot, mostrando sus ventajas y desventajas, recomendaciones para su aplicación y los valores del coeficiente “C” para las diferentes condiciones topográficas del área a drenar; es decir principios sobre los que se basa dicho método; parámetros que intervienen en la fórmula, como así también el proceso de dimensionamiento.

Se identificaron tres zonas de características climatológicas diferentes dentro del área de estudio, en cada una de ellas se trazaron 30 cuencas haciendo un total de 90 cuencas en las cuales se aplicó el Método de Talbot, el Método Racional y el Método del Hidrograma Unitario de Mockus. De la comparación de resultados se determinó la corrección del coeficiente “C” de Talbot, para que los valores corregidos en cada zona sean los que se utilicen en los tres tramos camineros planteados.

- Proyecto 1 - (Tramo 1): San Andrés – Bella Vista.
- Proyecto 2 - (Tramo 2): Iscayachi – Chorcoya Avilés y,
- Proyecto 3 - (Tramo 3): Quebrada la Vacas – Salinas.

En los cuales se analizó el diseño de las alcantarillas a través de dos métodos convencionales para la estimación de Caudales como son: el Método Racional y Método del Hidrograma Unitario de Mockus.

De los proyectos obtenidos para los tres tramos de estudio se encontró el resumen de las alcantarillas, el resumen del estudio hidrológico y sus dimensiones.

Se aplicó el Método de Talbot, para el elenco de alcantarillas contenidas en cada proyecto o tramo con los coeficientes “C” corregidos, obteniendo con los resultados las secciones hidráulicas para cada alcantarilla.

Los resultados obtenidos por el Método de Talbot, fueron comparados con los resultados de los métodos convencionales contenidos en los proyectos originales.

La comparación de los resultados mostró una pequeña diferencia entre las secciones hidráulicas encontradas por Talbot y las contenidas en los proyectos originales diseñados por el método racional.

En base al objetivo general y a los objetivos específicos, se redactaron las conclusiones y recomendaciones, emergentes de la comparación de los resultados.

CAPÍTULO I REVISION BIBLIOGRAFICA

1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ALCANTARILLAS

1.1.1.DEFINICIÓN.-

Las alcantarillas son estructuras transversales al camino que permiten el cruce del agua y están protegidas por una capa de material en la parte superior, pueden ser de forma rectangular, cuadrada, de arco o tubular, se construyen de concreto, láminas de metal, piedra o madera.

Para canalizar el agua se complementan con muros o aleros en la entrada y salida, podemos decir que actualmente en los caminos, las obras de drenaje más usuales son las alcantarillas.

Las alcantarillas son obras de drenaje que eliminan la inaccesibilidad de un camino, provocada por el agua o la humedad.

Los objetivos primordiales de las alcantarillas son:

- Drenar las aguas que se llegan a acumular en un camino.
- Reducir o eliminar la cantidad de agua que se dirija hacia el camino.
- Evitar que el agua provoque daños estructurales.

Las alcantarillas también deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Luz simple menor de 6 metros, o luces múltiples contiguas con una longitud total de 12 metros.
- El largo de la estructura deberá permitir el desarrollo total del coronamiento de la carretera.
- Generalmente debe contemplar el recubrimiento de terraplén sobre la alcantarilla, por lo tanto su parte superior no es utilizada como superficie de rodadura.

1.1.2. CLASIFICACIÓN.-

1.1.2.1. De acuerdo a su ubicación en relación con el eje de la carretera podemos clasificarlas en:

- a) **Alcantarillas laterales:** Permiten el acceso a propiedades y caminos transversales a la carretera principal, salvando las cunetas. La rotura de una de ellas sólo interrumpe el acceso. Pueden por lo tanto ser diseñadas para un menor tiempo de recurrencia o con menor coeficiente de seguridad.

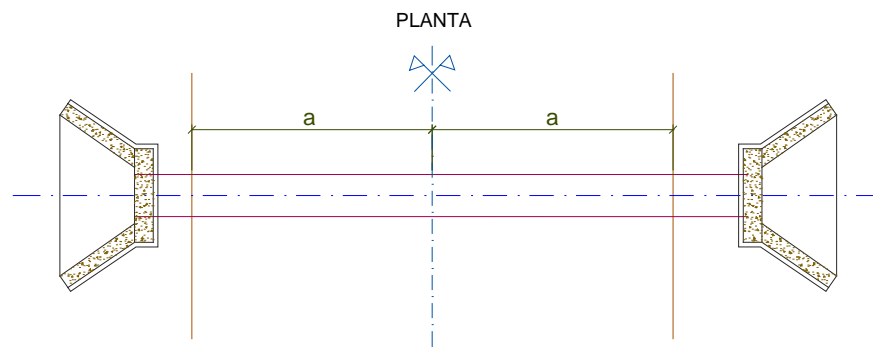
Fotografía 1: Alcantarilla lateral.



Fuente: Elaboración propia.

- b) **Alcantarillas Transversales:** Permiten el paso de las aguas de un lado al otro de la carretera. Son de fundamental importancia pues un mal funcionamiento de las mismas puede provocar su rotura y la de los terraplenes adyacentes, interrumpiendo el tránsito.

Figura 1: Alcantarilla Transversal.

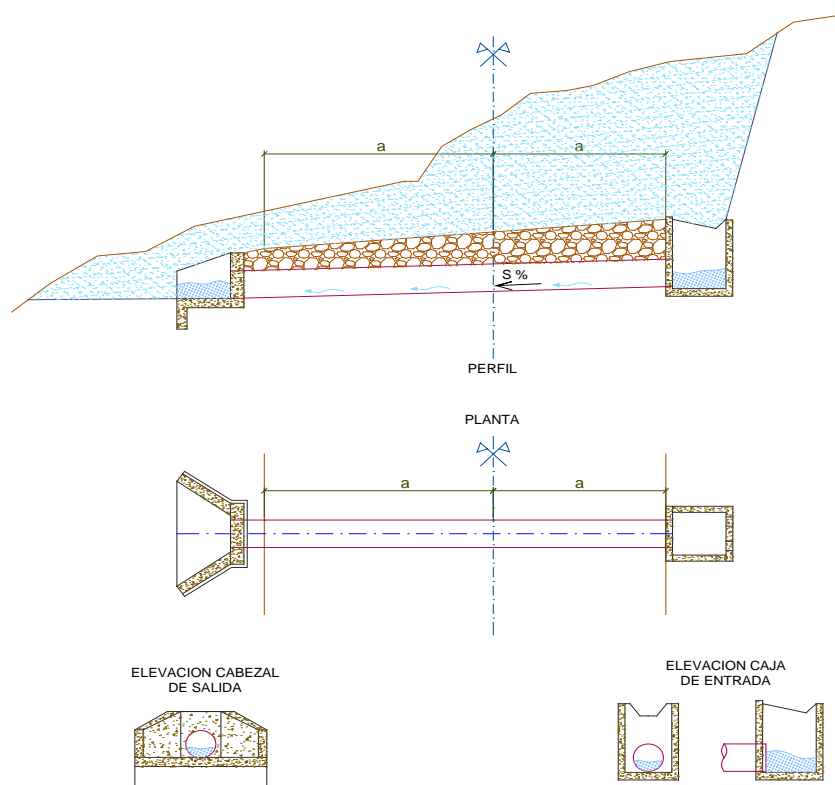


Fuente: Elaboración propia.

1.1.2.2. De acuerdo a su función en el drenaje de las aguas podemos clasificarlas en:

- a) **Alcantarillas de alivio:** Son aquellas obras de drenaje cuyo objetivo principal es poder desahogar el caudal de las cunetas que vienen longitudinalmente al camino, para aquello se requiere captar el caudal en una cámara y transportarlo al lado opuesto del camino a través de una tubería.

Figura 2: Alcantarilla de Alivio.



Fuente: Elaboración propia.

El distanciamiento en el caso de las alcantarillas de alivio viene dado por varios factores entre los cuales se destacan los siguientes:

- Hidrología de la zona.
- Pendiente del tramo considerado de la carretera.
- Topografía.
- Vegetación y relieve.
- Trazado.

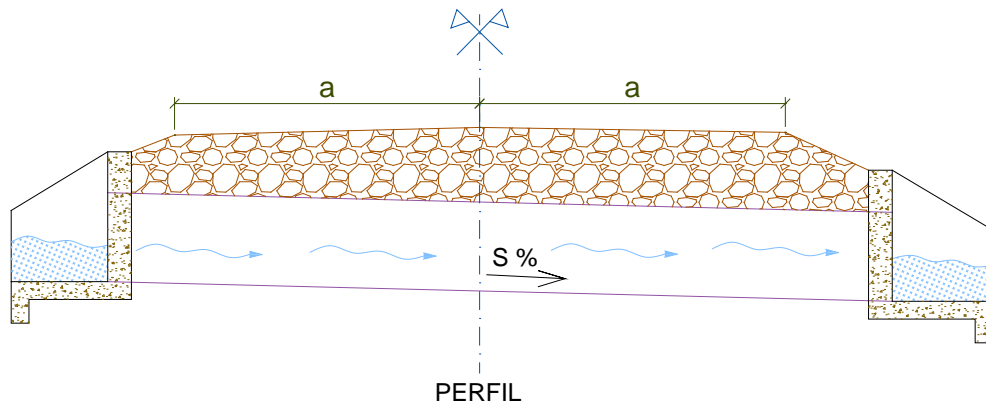
Estas alcantarillas estarán ubicadas cada cierto tramo de la carretera de manera que eviten el llenado excesivo de la sección de las cunetas; como una regla general o recomendable se dice que deben ir cada 100 m. sin embargo en un proyecto se tendrá que ver la disponibilidad económica y las condiciones técnicas como ser la topografía, pendiente, tipo de suelo; que en definitiva determinan la ubicación o separación entre cámaras.

Las alcantarillas de alivio deben instalarse a una distancia que evite que la corriente de la cuneta alcance la velocidad máxima de diseño, estas deben diseñarse de manera que la velocidad de las aguas a media capacidad sea de 0,7 a 1,0 m/seg, para poder transportar los sedimentos a través de ellas.

b) Alcantarillas de cruce:

Son obras de drenaje cuyo objetivo es resguardar la estructura de la carretera ante la presencia de una quebrada, río o corriente de agua que circula transversal al eje de la misma.

Figura 3: Alcantarillas de Cruce.



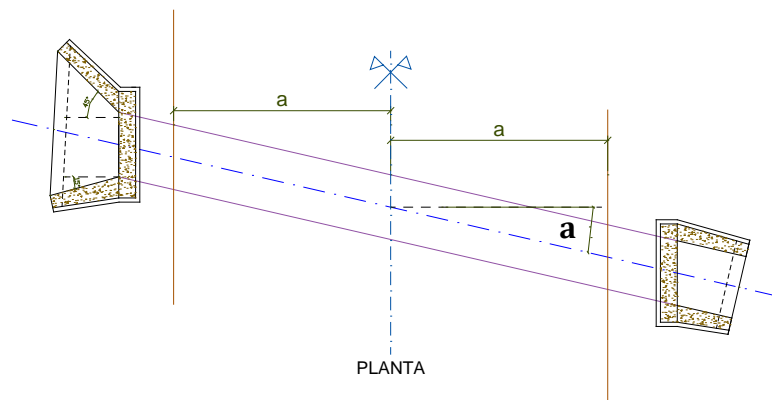
Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de las fallas en los caminos están relacionadas con estructuras de paso inadecuadas y mal diseño.

El emplazamiento en planta de dichas obras en lo posible deberá hacerse siguiendo el alineamiento del cauce natural de las aguas, es por esta razón que en ocasiones las alcantarillas de este tipo no son emplazadas de forma perpendicular al eje de la carretera, pudiendo clasificarlas en dos grupos en función a la dirección en que se encuentran con respecto al eje de la misma, pudiendo ser normales o esviajadas.

Alcantarillas normales y esviajadas:

Figura 4: Alcantarillas Esviajadas.



Fuente: Elaboración propia.

Se dice que una alcantarilla es normal cuando las proyecciones horizontales del eje longitudinal del conducto y del eje de la vía son perpendiculares. Cuando esto no ocurre se dice que la alcantarilla es esviada o sesgada.

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

En caso de caudales de escurrimiento pequeños pueden aceptarse sin mayores inconvenientes alcantarillas con un ángulo de esviaje algo diferente al del escurrimiento. A medida que se incrementan los caudales, mayor debe ser la coincidencia entre el ángulo de esviaje del conducto y del escurrimiento.

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

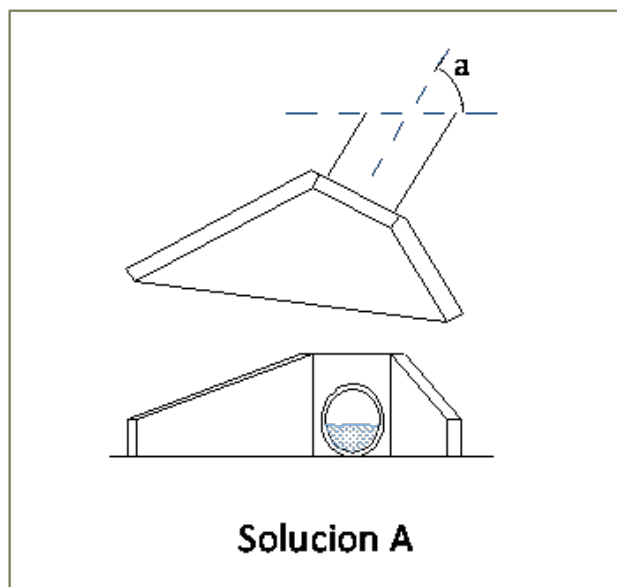
Los muros de ala de las alcantarillas esviadas deben ser diseñados respetando el rango de 30° a 75° de incidencia del escurrimiento respecto a las alas.

El diseño de alcantarillas con esviaje mayor de 45° necesariamente debe contemplar planos de detalle para cada uno de ellas, de igual manera para conductos esviados con pendientes longitudinales mayores de 10%.

En las alcantarillas esviadas construídas con elementos prefabricados se presenta el problema de los tubos terminales en su acople con los muros de ala. Pueden mencionarse las siguientes soluciones:

- **Muro normal al conducto:** Solución no aceptable desde el punto de vista de la seguridad vial ya que la conformación del muro no coincide con el alineamiento del eje de la carretera. Además presenta un aspecto visual desagradable.

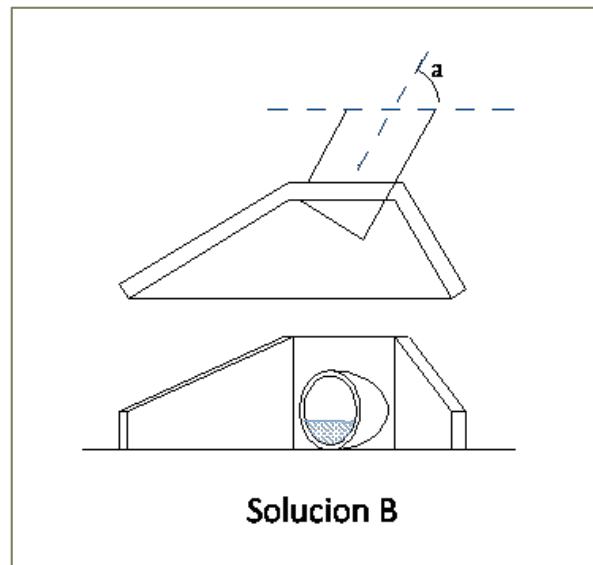
Figura 5.A: Muros en alcantarillas esviadas "Muro Normal al conducto".



Fuente: Cornero G. A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

- **Muro Paralelo al eje de la carretera:** En este tipo de solución se presentan 2 alternativas:
 - ✓ **Corte oblicuo del extremo del conducto acompañando el plano del muro.** Este corte puede ser al ras del muro o con una revancha saliente. No obstante no se considera conveniente prever el corte del tubo ya que, además de ser de mayor costo que el extremo normal, encarece cualquier obra que requiera el aumento de la longitud del conducto (ensanche del coronamiento de la carretera).
 - ✓ **Extremo normal.** En este caso queda una porción del conducto sobresaliendo del paramento del muro. Este tipo de solución, cualquiera sea la alternativa prevista, presenta un mal aspecto estético y una menor eficiencia hidráulica.

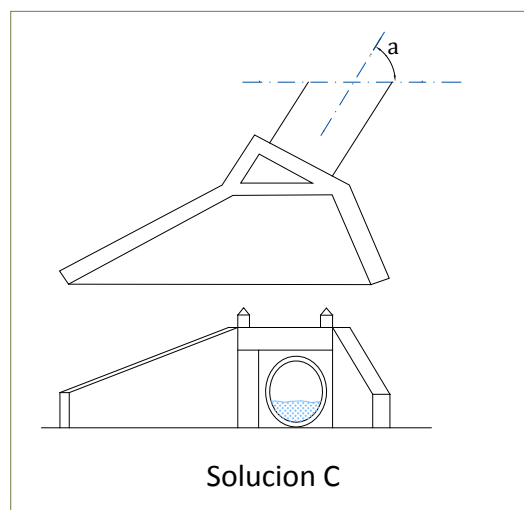
**Figura 5.B: Muros en alcantarillas esviadas;
Muro Paralelo al eje de la carretera "Extremo Normal".**



Fuente: Cornero G. A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

- **Muro alineado en relación con el eje de la carretera:** con una transición en cajón de hormigón entre el conducto y el muro propiamente dicho. Esta solución no presenta problemas de orden constructivo, no incrementa mayormente los costos y ofrece un buen aspecto estético.

**Figura 5.C: Muros en alcantarillas esviadas.
"Muro Alineado en relación con el eje de la carretera".**



Fuente: Cornero G. A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

Normalmente si existiera un esviajamiento menor o igual a 5° entre el curso natural de agua y la perpendicular al eje de la carretera, se podrá plantear la obra de forma perpendicular a dicho eje; si el ángulo que formarían fuese mayor, es conveniente proyectar la obra con cierto ángulo de esviaje.

1.1.3. TIPOS DE ALCANTARILLAS

Para definir los distintos tipos de las alcantarillas tomaremos 3 criterios fundamentales, que son los siguientes:

1.1.3.1. Según la geometría de la sección.

Las alcantarillas según las geometrías más usadas pueden ser: *circulares*, para caudales reducidos, y *rectangulares*, para caudales mayores. Las alcantarillas tipo cajón son adecuadas cuando trabajan bajo condiciones de compresión moderada o rellenos muy bajos.

Cuando las cargas de relleno aumentan, o cuando las presiones hidrostáticas internas son mayores que las cargas exteriores; este tipo de alcantarilla puede convertirse en una solución menos económica.

Existen también secciones *abovedadas* y *ovaladas* formadas por arcos de circunferencia, que tienen la ventaja sobre el caño circular de permitir mayor escurrimiento de agua con menor altura de alcantarilla.

Las alcantarillas tipo bóveda, de frecuente utilización en épocas pasadas, prácticamente se hallan en desuso por tratarse de estructuras poco económicas, quedando restringido su uso a obras en las que prime un concepto arquitectónico paisajista determinado.

Figura 6: Tipos usuales de alcantarillas.

DESIGNACION	SECCION	MATERIALES
Rectangular		Hormigón Mamposteria Madera
Caño Circular		Hormigón Chapa ondulada cincada
Caño Abovedado		Chapa ondulada cincada
Caño Ovalado		Chapa ondulada cincada
Bóveda		Hormigón Mamposteria Hormigon y Chapa ondulada cincada

Fuente: Cornero G. A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

- a) **Alcantarillas de tubo o circulares:** Son aquellas que están recomendadas cuando las secciones del área hidráulica son relativamente pequeñas y cuando el arrastre de los ríos o quebradas no tenga palizada y piedras, aunque es posible utilizar alcantarillas de tubo de cemento (armado con malla), no ha dado resultados en la práctica siendo los de mayor uso los tubos de hierro corrugado de la marca ARMCO cuyas características han resultado ser las más adecuadas a nuestro medio, dentro de este tipo de alcantarillas existen varias formas y dimensiones.

Las alcantarillas de tubo ARMCO son de acero corrugado galvanizado circular el cual da la solución más rápida, precisa y duradera a cualquier problema de drenaje pluvial.

Este tipo de alcantarillas tiene como principal objetivo el encausamiento de aguas pluviales para que no erosionen el terreno, camino, carretera o autopista. Dentro de este tipo de alcantarillas podemos mencionar las alcantarillas: Circulares, abovedadas, elipsoidales y de arco.

Entre las ventajas podemos mencionar las siguientes:

- Son más livianas que los tubos de cemento.
- Mayor resistencia a vibraciones e impactos.
- Mayor duración por el proceso de galvanizado.
- Menor volumen de almacenamiento.
- Gran facilidad de instalación.

Fotografía 2: *Alcantarillas circulares de metal corrugado.*



Las alcantarillas de tubos de cemento, son generalmente de diámetros no menor de 90 cm, para facilitar su limpieza y la economía, cuidando también que no sean tubos de diámetros grandes ya que son muy costosos.

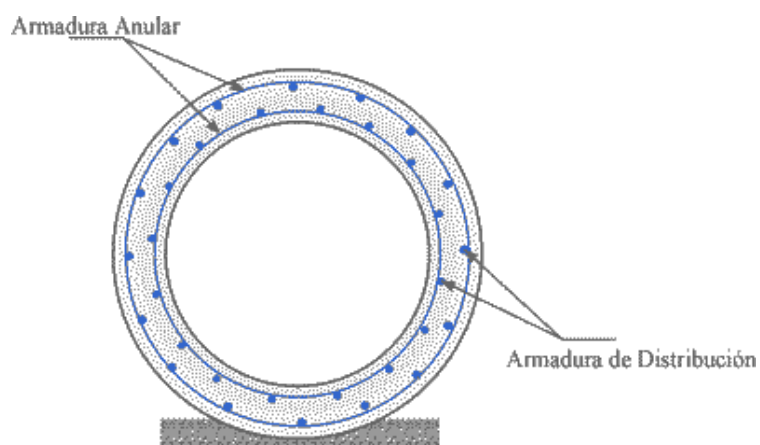
Por ejemplo, para terraplenes destinados a vías férreas se aceptan tubos en hormigón simple hasta 0.8 metros de diámetro, siempre que sobre el tubo el relleno sea superior a 3 m. y si el terreno es malo se debe colocar una capa de hormigón y a veces inclusive revestir el tubo con ella.

Fotografía 3: *Batería de alcantarillas circulares de tubos de hormigón armado.*



Pasados los 0.8 m. de diámetro se debe emplear tubos de hormigón armado, porque aparecen tensiones de tracción tanto en la pared interior como en la exterior, por lo que se dispone armadura anular en ambas caras de la pared del tubo con armadura de distribución longitudinal, como se muestra en la figura:

Figura 7: *Alcantarillas circulares de hormigón armado.*



La elección del tipo de tubo estará en función de su magnitud y las condiciones de entorno de la quebrada o río.

b) **Alcantarillas tipo cajón o Rectangulares:** Las alcantarillas de cajón son otro tipo de alcantarillas cuya utilización se recomienda cuando las secciones o áreas hidráulicas dadas por un tipo de tubería se hacen insuficientes, en tal caso se busca una sección rectangular que satisfaga el área hidráulica necesaria.

Están conformadas por una base que puede ser de zampeado de piedra u hormigón pobre, dos paredes laterales de hormigón simple u hormigón ciclópeo cuyo capacidad de soporte deberá ser suficiente para resistir los esfuerzos de apoyo de la losa superior, finalmente se tiene una losa de hormigón armado que puede servir a su vez como superficie de rodadura o en su caso soportar sobre ella un terraplén de relleno hasta el nivel de sub rasante.

Las alcantarillas de cajón son estructuras de sección rectangular con paredes, techos y piso de concreto reforzado cuya construcción requiere cuidados especiales. Trabajan en conjunto como un marco rígido que absorbe el peso y el empuje del terraplén la carga viva y la reacción del terreno.

Tanto las losas como los muros son delgados y de poco peso, en conjunto tienen una amplia superficie de sustentación.

El rango más usual de aplicación de este tipo de estructura es de luces entre 3 metros y 6 metros, alturas entre 4 metros y 9 metros, admitiéndose vanos múltiples para luces iguales o mayores a cuatro metros. En general este tipo de alcantarilla no se la diseña con tapada de terraplén sino que la losa (con una capa de recubrimiento) se utiliza como superficie de rodadura.

Esta situación requiere el diseño de losa de aproximación para disminuir los asentamientos relativos entre estructura y terraplena adyacente.

Fotografía 4: Alcantarillas tipo cajón de hormigón armado.



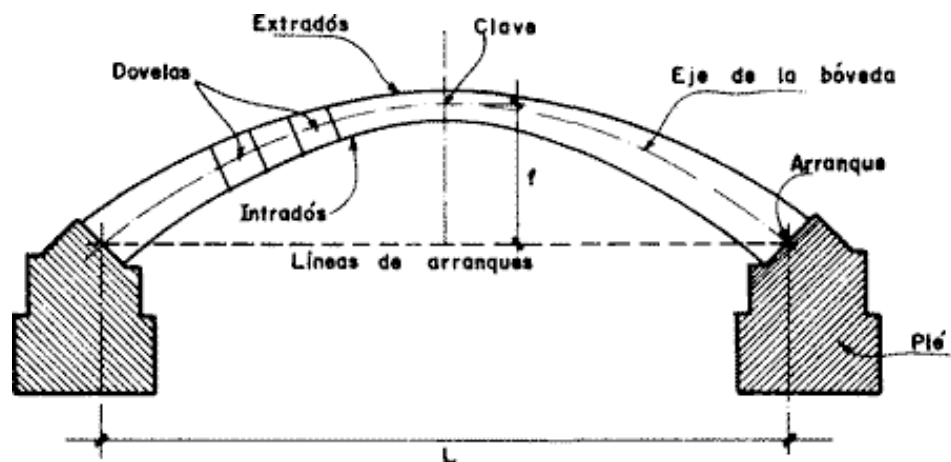
- c) **Alcantarillas Tipo bóveda**: Este tipo de alcantarillas denominadas tipo bóveda está formada por una semicircunferencia y sobre ella construida la estructura de tal manera que vaya absorbiendo todos los esfuerzos. Su uso data de hace muchos años con resultados de duración buenos con una forma constructiva relativamente fácil, siempre y cuando se disponga del material; generalmente están construidas de mampostería de piedra, cuya piedra es especialmente labrada en bloques rectangulares para ir formando la estructura, también por su forma tiene la ventaja de obtener la mayor superficie hidráulica, en la mayoría de los casos la estructura superior sirve como capa de rodadura o en su caso una carpeta de grava o ripio como superficie de rodamiento. Con el fin de limitar el ancho de la calzada se tiene construidos unos bordillos también de mampostería de piedra de unos 20 a 30 cm. de ancho y 50 cm. de alto.

Las bóvedas son estructuras cuya sección transversal interior está formada por tres partes principales: el piso, dos paredes verticales que son las caras interiores de los estribos y sobre estas, un arco circular de medio punto o rebajado, que es el intrados de un arco estructural de sección variable con un mínimo de espesor en la clave.

En general las bóvedas se construyen con mampostería de tercera y mortero de cemento 1:5. Para construir el arco se requiere un molde de madera, que se aprovecha también para colocar la clave a lo largo de la obra. La clave, de concreto simple de $f_c=100 \text{ Kg/m}^2$, cierra el arco en el centro con juntas radiales y tienen un ancho medio mínimo de 35 cm. Las piedras del arco tienen hasta donde es posible, juntas radiales, con cuatropeo longitudinal y una mayor dimensión del estrados. Cuando se use cemento normal, el descimbrado se hará a los catorce días de colocada la clave, tiempo a partir del cual se construye el terraplén.

EL zampeado del piso y los dentellones ubicados aguas arriba y abajo para proteger el suelo contra la erosión pueden omitirse en terrenos rocosos. Para eliminar el empuje hidrostático sobre los muros, se coloca una capa de 30 cm de espesor de material graduado en el respaldo de cada estribo.

Figura 8: Arco de alcantarilla tipo bóveda.



Fotografía 5: Alcantarillas tipo bóveda.



1.1.3.2. Según el material a emplear en su fabricación.

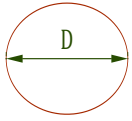
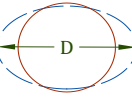
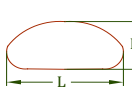
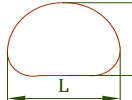
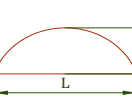
Las alcantarillas, según la clase de material que se emplea en su fabricación pueden clasificarse en alcantarillas metálicas, alcantarillas de concreto y alcantarillas de material plástico.

- 1. Las *alcantarillas metálicas*** son, generalmente, corrugadas, ya que esta condición aumenta la resistencia del material, acero o aluminio, a los esfuerzos. Las formas utilizadas aparecen en el cuadro 3; donde se indican usos y dimensiones comunes.

Especialmente utilizadas cuando el relleno es de mediana altura y de solución muy interesante cuando el terreno de fundación es malo, están formadas por tubos metálicos prefabricados o chapas acanaladas de acero galvanizado, premoldeadas para formar tubos de diámetro previsto.

Funcionan como estructuras elásticas ó flexibles, por lo cual se adaptan a las presiones del relleno que soportan.

Cuadro 3: Formas más usuales de alcantarillas metálicas.

FORMA		DIMENSIONES (Pulgadas)	USOS COMUNES
CIRCULAR		6 a 252	Alcantarillas, sub-drenajes, servicios de túneles, cloacas, etc. Radio fijo. Para medianos y altos rellenos.
ELONGACION VERTICAL (Elipse) Generalmente 5%		48 a 252 antes de la elongacion	Alcantarillas, cloacas, servicio o recubrimiento de túneles. Radio variable. Se utiliza cuando la altura del relleno es moderada.
ABOVEDADO		L x H 18 x 11 a 247 - 158	Tiene ventajas hidraulicas para flujos pequeños y se utiliza cuando la altura del relleno es moderada.
PASO SUBTERRANEO		L x H 68 x 69 a 244 - 150	Para peatones, paso de animales o vehiculos.
ARCO		L x H 72 x 215 a 300 - 150	Para bajas aberturas con largos cursos de agua y por razones de estética.

Fuente: Carciente Jacob, Carreteras, Venezuela 1980.

*Para igual área o abertura, la forma circular es generalmente más económica y simple para ensamblar.

Se recomienda que el relleno mínimo sobre las alcantarillas metálicas sea de 60 cm, aunque en la práctica y por seguridad son pocos los casos en los que los rellenos son inferiores a un metro y pueden soportar el paso de grandes cargas rodantes sobre la calzada.

- Las alcantarillas de concreto**, según su forma, pueden ser alcantarillas de cajón (cuadradas, rectangulares de una o varios celdas), circulares y ovaladas. En el caso de alcantarillas de concreto, la elección de la forma debe ser hecha cuidadosamente, entre los factores más importantes podemos

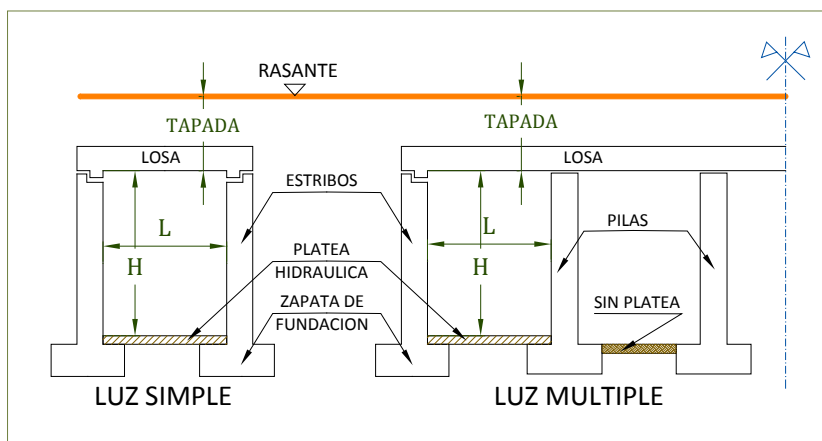
mencionar la topografía del lugar, la eficiencia hidráulica y estructural y, por supuesto, los costos de construcción.

Inicialmente, la selección de la forma se hace buscando la que mejor se adapte al cauce del canal de drenaje. En canales estrechos y profundos, que llevan altos flujos en las épocas lluviosas, es más conveniente instalar alcantarillas estrechas y altas. En zonas planas, sin cauces definidos, el agua escurre en grandes volúmenes pero pequeñas alturas, en este caso, es recomendable una alcantarilla de cajón de una o varias celdas.

Dentro de las alcantarillas de concreto podemos definir 2 principales grupos:

1. **Alcantarillas de Sección rectangular.-** A su vez se presentan 2 tipos de estructuras:
 - a) **Losa sobre estribos.-** En la siguiente figura se presenta un esquema de su sección transversal. La estructura puede o no llevar una platea que solamente cumple funciones hidráulicas.

Figura 9: Alcantarilla tipo losa sobre estribos.

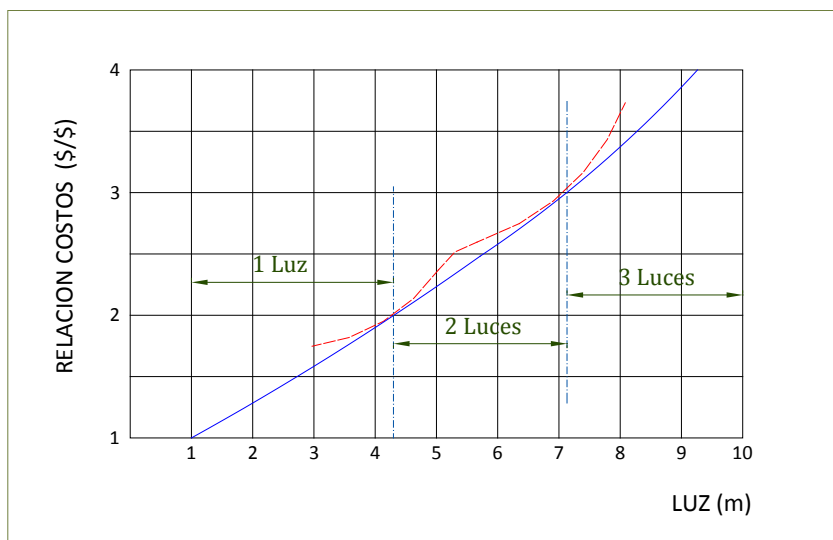


Fuente: Cornero G. A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

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

En la Figura 10 se puede observar una gráfica que relaciona costos relativos (se toma como costo unitario una alcantarilla de un metro de luz) en función de la luz total para luces simples, dobles y triples, para un determinado diseño.

Figura 10: Costos relativos de alcantarillas para luces simples y múltiples.



Fuente: Cornero G. A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

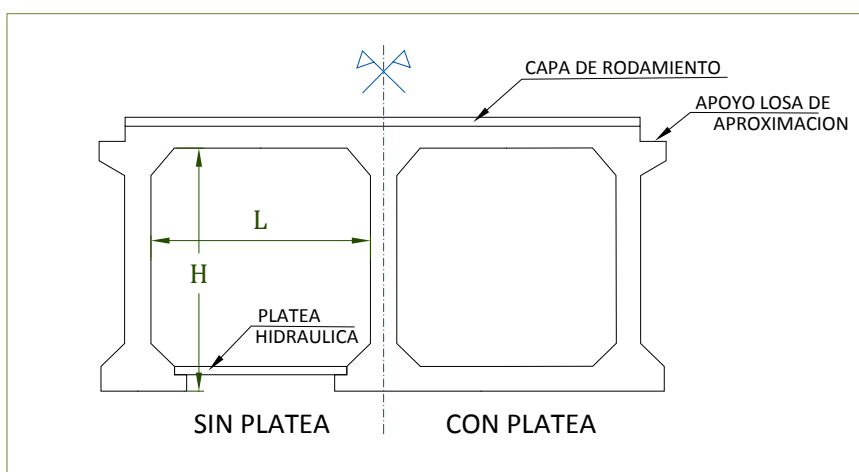
En la misma puede observarse que hasta 4 metros de luz es más económico el empleo de luz simple. Entre 4 y 8 metros es más conveniente el empleo de dos luces y a partir de este último valor ya debe seleccionarse una luz triple.

En cuanto a los valores de tapada máxima puede admitir un solo valor máximo. No obstante, y a los efectos de reducir costos, pueden diseñarse hasta 3 categorías que admitan tres rangos de tapada máxima (Por ejemplo: 1 metro, 3 metros y 5 metros).

En los planos tipo que admitan una única tapada máxima no es conveniente la adopción de alturas de alcantarillas por encima de las que requiere el escurrimiento hidráulico ya que, si bien una mayor altura requiere una menor longitud del conducto, el costo se incrementa notablemente.

- b) Alcantarillas Pórtico.-** Pueden presentarse dos variaciones: con zapatas individuales (a su vez pueden llevar o no platea hidráulica), o con platea de fundación. En la Figura 11. a la izquierda del eje de simetría se presenta en primer caso y a la derecha el segundo.

Figura 11. Alcantarilla tipo Pórtico.



Fuente: Cornero G. A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

El rango más usual de aplicación de este tipo de estructura es de luces entre 3 y 6 metros, alturas entre 4 y 9 metros, admitiéndose vanos múltiples para luces iguales o mayores a 4 metros.

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

Esta situación requiere el diseño de losa de aproximación para disminuir los asentamientos relativos entre estructura y terraplén adyacente.

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

- 2. Alcantarillas de tuberías de hormigón.-** Se utilizan generalmente para cubrir bajos caudales de escurrimiento. Se trata de elementos prefabricados de muy sencilla construcción y colocación.

No se recomiendan diámetros inferiores a 1 metro para evitar inconvenientes en el mantenimiento, y los máximos alcanzan generalmente 1,30 metros ya que diámetros mayores los hacen de difícil transporte, aumentando los peligros de rotura.

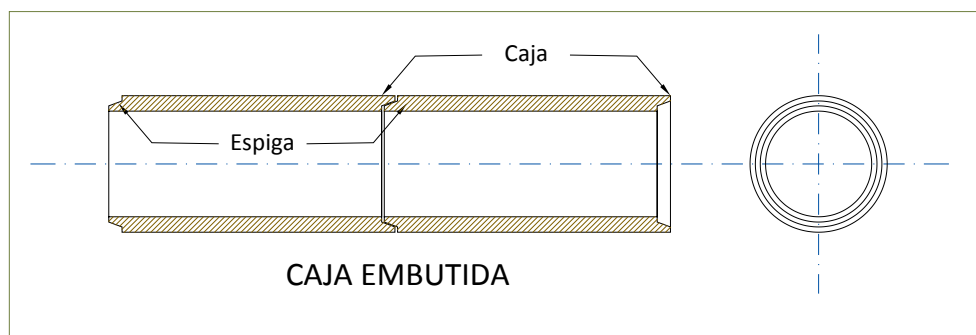
Los tubos se construyen en hormigón armado, con longitudes que oscilan entre 1 y 1,20 metros.

A los efectos de lograr continuidad en la unión de los tubos, se diseñan terminales apropiadas denominadas caja y espiga.

Se presentan 2 tipos de terminales de tubos:

- a) Terminal embutido:** Denominada también tipo media muesca, es aquel en el cual la caja y la espiga se desarrollan dentro del espesor del tubo.

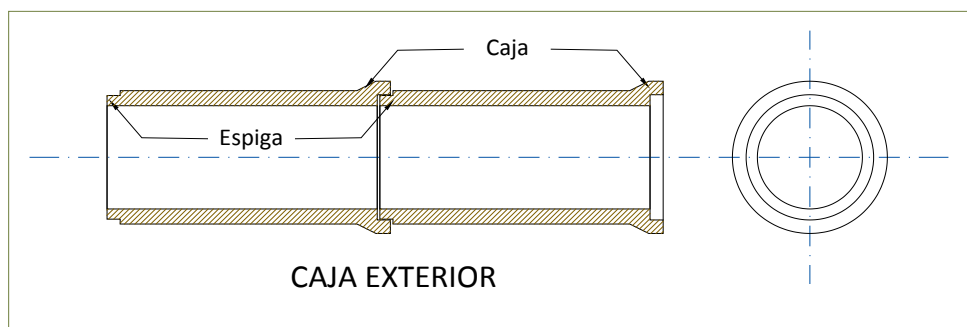
Figura 12. Tubo de concreto con terminal embutido.



Fuente: Elaboración Propia.

- b) Terminal exterior:** Si el espesor del tubo no permite albergar la caja, esta se desarrolla por fuera de la circunferencia exterior del tubo. Se denomina también terminal tipo bocina. Presenta el inconveniente de requerir un mayor trabajo de conformación de la base de asiento donde apoyarán los tubos, en especial cuando la misma se construye en hormigón.

Figura 13. Tubo de concreto con terminal exterior.

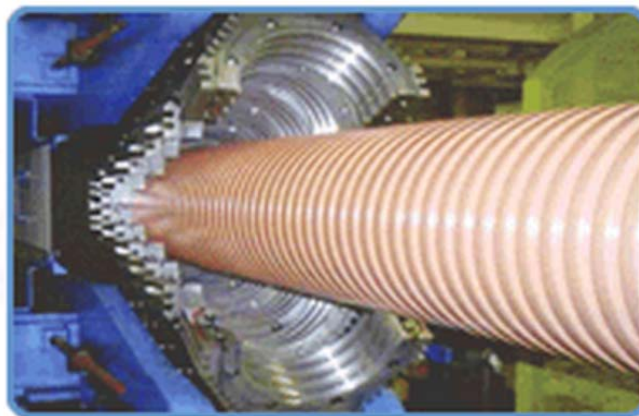


Fuente: Elaboración Propia.

- 3. Alcantarillas de material plástico**, es otro tipo de material utilizado para la fabricación de alcantarillas circulares que por sus características presenta grandes ventajas en cuanto a facilidad de colocación, traslado y almacenaje de dichos elementos, según el tipo de pared existen dos tipos de elementos, los de pared lisa y los de pared corrugada, como por ejemplo el Rib Loc.

Generalmente los diámetros de estas tuberías no exceden un valor de 1000 mm (1 m.). Los materiales más utilizados para su fabricación son el polietileno, el cloruro de polivinilo (PVC), o el acrilonitrilo butadienoestireno (ABS).

Fotografía 6. Tubos de material plástico – Corrugado Tipo Rib. Loc.

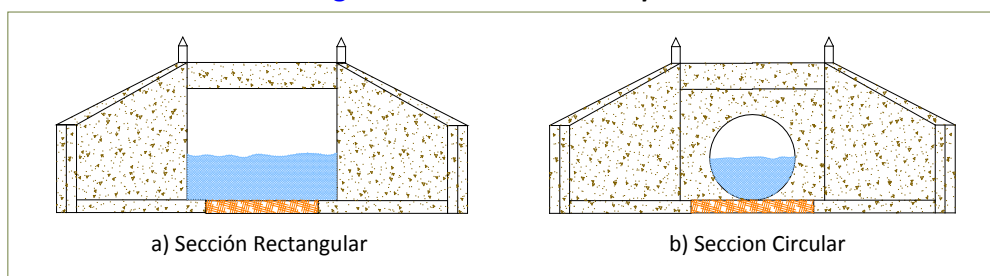


1.1.3.3. Según el número de conductos.

Según el número de conductos podemos clasificarlas en alcantarillas simples y alcantarillas múltiples.

- a) **Alcantarillas simples**: Son las secciones corrientes es decir están compuestas de una sola cavidad o cañón; que en función a los volúmenes de agua a drenar en ese punto; la sección hidráulica (circular o rectangular) es suficiente para permitir un buen funcionamiento de la estructura.

Figura 14: Alcantarillas Simples.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

- b) **Alcantarillas múltiples**: Las alcantarillas de varias celdas se adaptan a rellenos moderados y a largos cursos de agua; son ventajosas cuando la pendiente del terreno es fuerte y la altura de relleno está restringida.

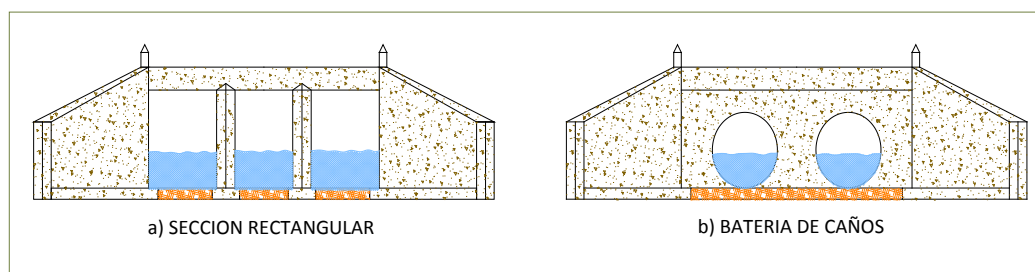
En estas alcantarillas no se presentan problemas de fundación; sobre suelos que no soportan compresión o que tienen baja capacidad de carga, las presiones se distribuyen de forma más uniforme y sobre un área más ancha que en los otros tipos de alcantarillas; el asentamiento es menos probable y, por lo tanto, disminuye la posibilidad de hundimientos en la vía. En fundaciones sobre roca, el espesor de la losa de fondo puede ser reducido y, a veces, hasta eliminado mediante el uso de pequeñas bases.

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*. Ver Figura 15.a

Cuando las luces múltiples se integran con secciones circulares o similares, las estructuras se designan con el nombre de *batería de tubos*. Ver Figura 15.b

Figura 15: Luces múltiples y batería de tubos.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

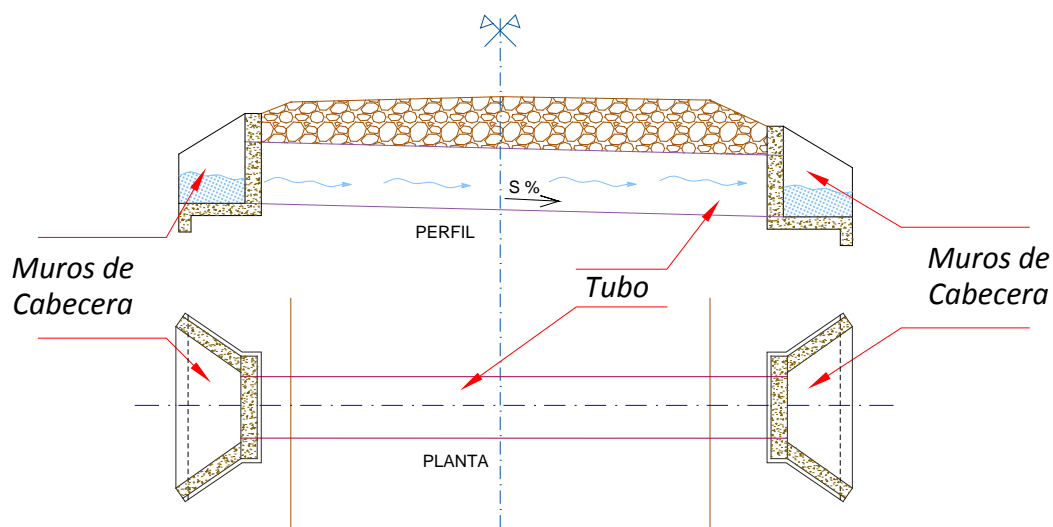
Diseñar luces múltiples no es aconsejable en lo que hace al aspecto hidráulico ya que, bajo ciertas condiciones, se produce un mayor escurrimiento en una de la luces, mientras que en otras disminuye hasta valores de escasa significación. Ello ocasiona un aumento localizado de la velocidad provocando erosiones del lecho; este efecto se produce con mayor intensidad en las baterías de caños. Otro factor a tener en cuenta en este tipo de estructura es su deficiente comportamiento en caso de arrastre de materiales por la corriente de las aguas. Estas consideraciones aconsejan no diseñar alcantarillas de luces múltiples cuando se varía el ángulo de esviaje del curso, o cuando el escurrimiento de las aguas presenta elevadas velocidades y/o arrastre de materiales (piedras, ramas, troncos, etc.). Para secciones rectangulares no se estima conveniente el diseño de alcantarillas múltiples con luces unitarias inferiores a 2 metros.

1.1.4. COMPONENTES DE UNA ALCANTARILLA

Una alcantarilla consta de dos partes que son el tubo o cuerpo y los muros de cabecera. El tubo o cuerpo forma el canal de la alcantarilla y es la parte principal de la estructura. Los muros de cabeza sirven para impedir la erosión alrededor del caño,

para guiar la corriente y para evitar que el terraplén invada el canal. Sin embargo, si se alarga el caño, los muros de cabecera se pueden omitir.

Figura 16 Partes de una alcantarilla.



Fuente: Elaboración Propia.

1.1.4.1. Alcantarillas sin Cabeceras

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

Esta solución es generalmente aplicable cuando el suelo de fundación condiciona la cimentación de muros. Esta embocadura tiene menor eficiencia hidráulica y se la emplea cuando son remotas las posibilidades de procesos erosivos. En general esta solución resulta más económica que la construcción de muros (mayor longitud de conducto versus muro de cabecera).

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

En caso que deban construirse extremos prolongados y sea necesario proteger los terminales del conducto, suelen revestirse los taludes de los terraplenes adyacentes al

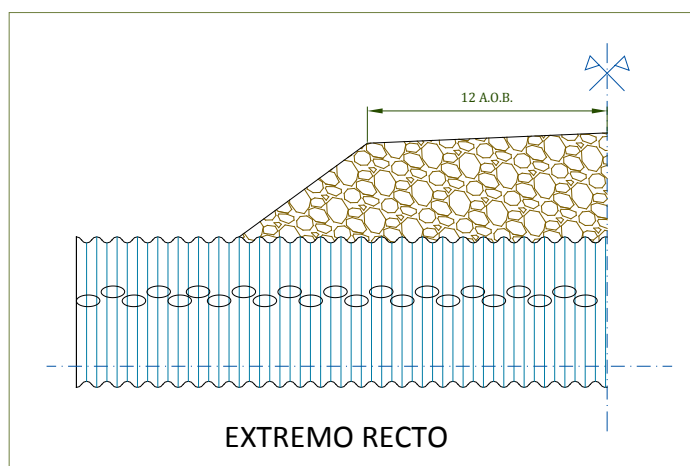
conducto, pero estos revestimientos no cumplen funciones estructurales ni hidráulicas.

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

- a) **Extremos rectos.-** Son los más simples y están conformados por un plano recto vertical normal al eje del conducto. En los casos de conductos prefabricados se componen directamente con los materiales estándar que conforman los elementos prefabricados.

Estos elementos no se cortan y la longitud resultante de la alcantarilla es un múltiplo de las dimensiones de las piezas prefabricadas.

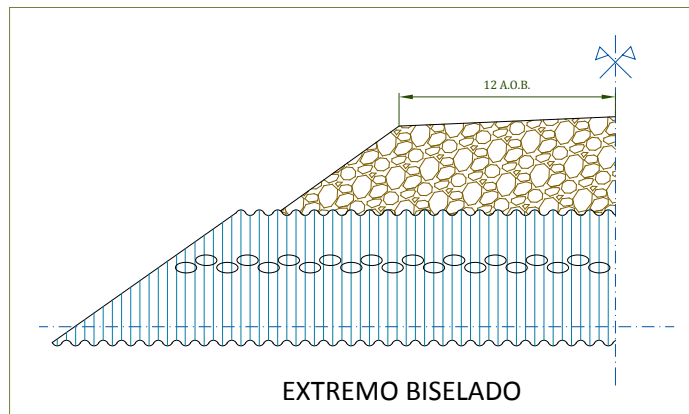
Figura 17. Alcantarillas sin cabecera, extremo recto.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

- b) **Extremos Biselados.-** Denominados también chaflanados o tipo silbato, se conforman acompañando el talud de los terraplenes. El corte se realiza sobre un plano perpendicular al plano vertical que contiene el eje longitudinal del conducto. Las unidades prefabricadas no se cortan en obra sino que son provistas directamente por el fabricante (chapas cortadas y cincadas en fábrica, tubos de hormigón biselados construidos ex profeso, etc.).

Figura 18. Alcantarillas sin cabecera, extremo biselado.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

Tienen la ventaja de ofrecer mejor configuración estética que los extremos rectos, en especial cuando se complementan con revestimiento de taludes. Así también presentan una serie de desventajas, entre las cuales podemos citar:

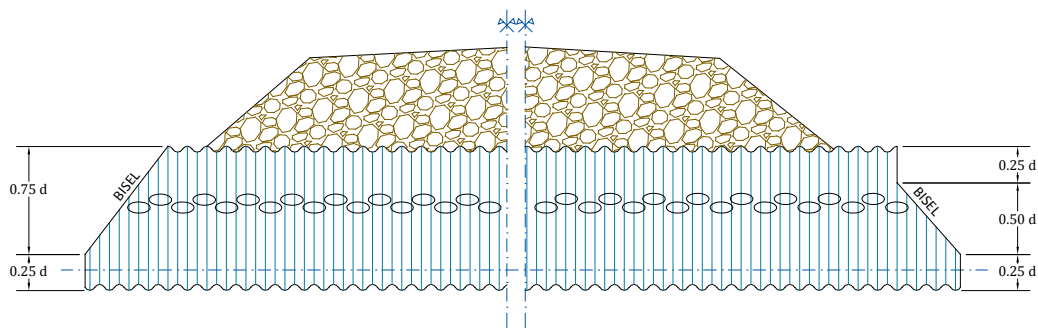
- Mayor costo de los extremos biselados en relación a los extremos rectos.
- Mayor gasto de ejecución en caso de una futura prolongación de la longitud del conducto.
- Disminución de la resistencia estructural del conjunto en la zona biselada.
- Configuración poco favorable para el control del escurrimiento de las aguas.

El ángulo del bisel no debe ser inferior a 27° más o menos un talud de 1:2 (v:h), ya que disminuiría notablemente la resistencia estructural del conducto. Usualmente se diseñan con una pendiente de talud de 2:3.

Para el caso de grandes estructuras de chapa ondulada cincada puede ser necesario el arriostamiento temporario de los extremos biselados durante la construcción de las obras o el diseño de vigas anulares de refuerzo.

- c) **Extremos Mixtos.-** Esta solución tiende a disminuir los inconvenientes de la menor aptitud hidráulica, y la poca resistencia estructural que presentan los extremos biselados.

Figura 19. Alcantarillas sin cabecera, con extremos mixtos.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

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.

En alcantarillas de dimensiones considerables, para mejorar la resistencia del conducto, se deja en la parte superior el extremo recto en una magnitud del orden del 25 % de la altura del conducto.

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

El problema que presentan los extremos prolongados, cualquiera sea su tipo, se complica cuando los conductos tienen esviaje, ya que un corte oblicuo en el terminal del tubo contribuye a disminuir su resistencia. Cortes en conductos con esviaje menor de 70° combinados con extremos biselados requieren la construcción de muros terminales o, por lo menos, de vigas anulares de refuerzo.

1.1.4.2. Muros de cabecera:

Son denominados muros de cabecera, las obras realizadas en los extremos de los conductos, que al ser parte importante de una estructura de cruce le confieren los siguientes beneficios:

- Incrementan la eficiencia hidráulica de la alcantarilla.
- Retienen el talud de los terraplenes y de esta forma permiten disminuir 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 de la obra de cruce.

Si bien la función hidráulica que cumplen en una alcantarilla ambos muros es distinta (*el muro de entrada acumula energía potencial y la transforma en energía cinética, mientras que el muro de salida libera el exceso de energía cinética*), por razones de simplicidad es usual adoptar diseños iguales para ambas cabeceras.

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

La falta de estos conos terminales provoca daños en los taludes de los terraplenes en adyacencias de los muros, ya que al quedar el talud prácticamente vertical, no se controla la estabilidad del suelo.

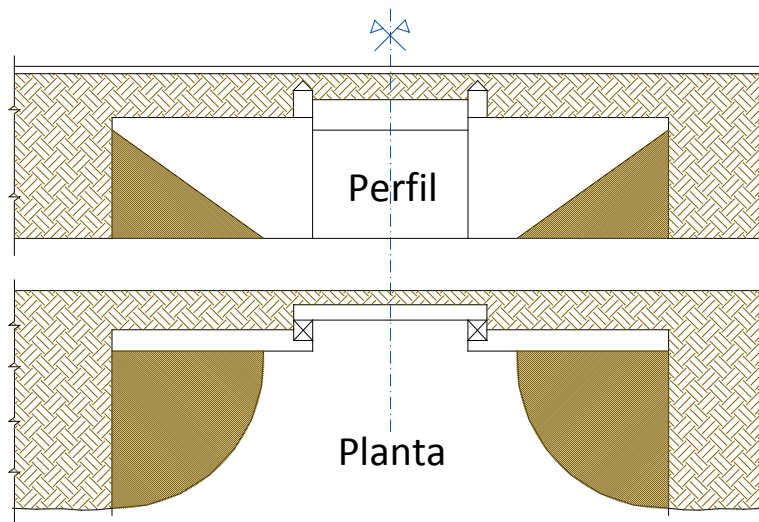
Los conos terminales no deben invadir el área prevista para el escurrimiento de las aguas ya que perturban la vena líquida causando concentración de caudales e incremento de velocidad, lo cual se traduce en erosión en dichos conos, originando la destrucción progresiva del terraplén adyacente.

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

- Muros de Vuelta:** son aquellas construídas paralelos al eje de la carretera, Ver figura (2.20.). Se emplean en escurrimientos con bajos caudales o en cauces indefinidos. Son utilizados usualmente en alcantarillas para acceso a propiedades. Su uso es obligado cuando la topografía del emplazamiento es tan quebrada que no admite la construcción de muros de ala o cuando es necesaria la previsión de muros de sostenimiento del terraplén en coincidencia con la ubicación de la

alcantarilla. Tienen el inconveniente de no ser adecuados para el caso en que es necesaria la construcción de plateas adicionales a la salida del conducto.

Figura 20. Alcantarilla con muro de vuelta.



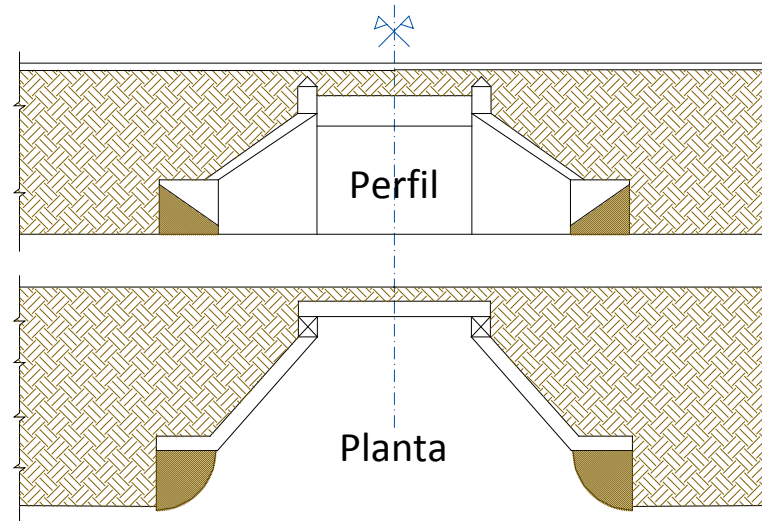
Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

- b) **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. Ver figura (2.21).

Es deseable diseñar alas con ángulos de 30° ya que valores mayores no aumentan la eficiencia hidráulica pero sí incrementan los costos de construcción. Además, los muros de ala a 30° presentan mejor configuración estética de la que pueden ofrecer ángulos mayores.

Los muros de ala presentan la ventaja, para el caso de construcción de plateas adicionales en los extremos del conducto, de conformar una unidad funcional de gran eficiencia hidráulica.

Figura 21. Alcantarilla con muro de ala.

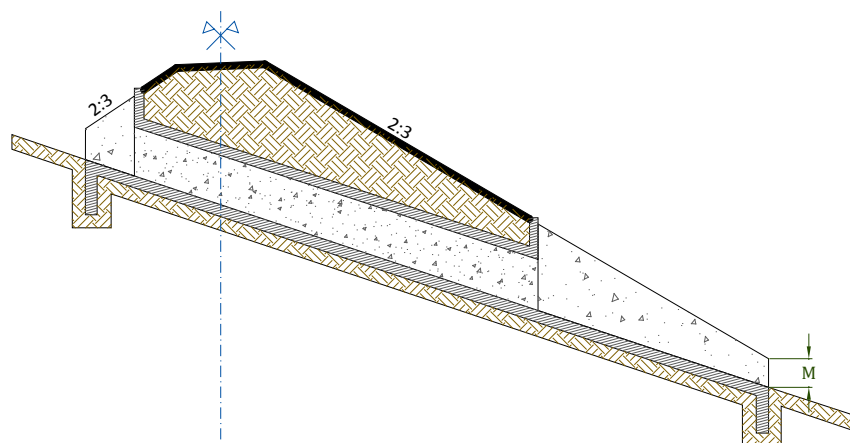


Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

Cuando la pendiente transversal del terreno natural es considerable, los muros de ala de la desembocadura adquieren dimensiones excesivas, y varía notablemente su geometría en relación a los muros de la embocadura. Ver figura (2.22).

Esto lleva a que, en emplazamientos con estas características, se adopten generalmente muros de vuelta.

Figura 22: Muro de ala con fuertes pendientes.

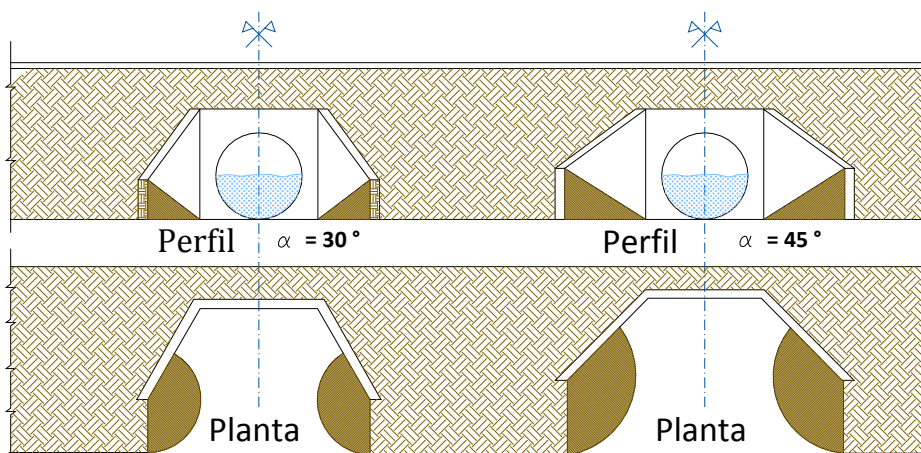


Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

Es así que debería circunscribirse el rango de aplicación de los muros de ala en planos tipo, a valores de pendiente longitudinal del conducto comprendidos entre 0% y 10%. Es obvio que podrían diseñarse muros de ala en conductos con pendientes mayores, pero ya serían diseños específicos para cada condición emergente, y con geometrías diferentes para embocadura y desembocadura.

Es usual el empleo de planos tipo con alas a 30° ó 45° . Estas poseen igual eficiencia hidráulica, pero los muros a 30° son más económicos y ofrecen una mejor configuración estética.

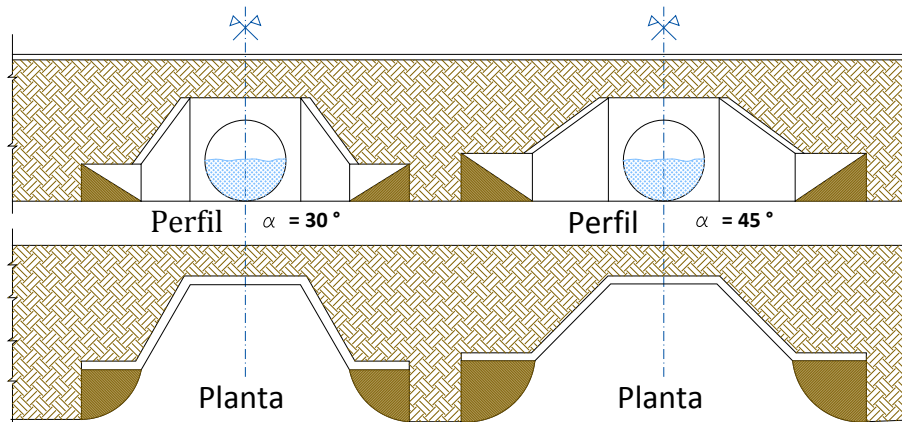
Figura 23: Muro de ala sin aletas.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

Para formar el cono Terminal fuera de la zona entre alas (área que debe ser reservada para el escurrimiento de las aguas) pueden construirse los muros de ala con aletas terminales paralelas al eje de la carretera. Estas aletas ofrecen una mejor configuración estética y favorecen el sistema estructural resistente.

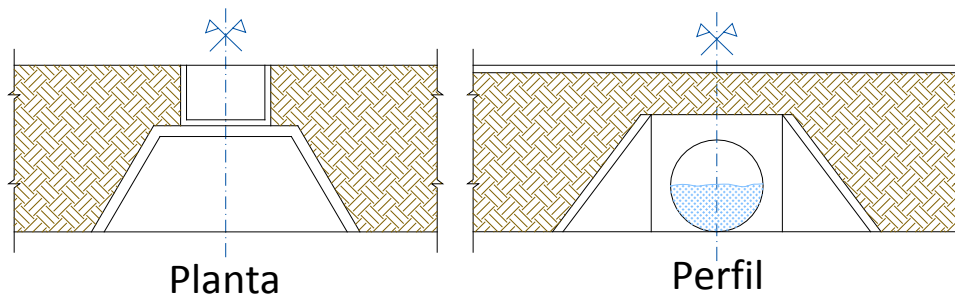
Figura 24: Muros de alas con aletas.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

Otra solución para obviar la problemática que presenta el cono terminal sería concluir el ala a nivel del terreno natural, pero es notablemente más caro y ofrece una apariencia visual de menor calidad.

Figura 25: Muros de alas terminales a nivel del terreno natural.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

Es conveniente que tanto el muro propiamente dicho como las alas tengan una revancha por sobre el terraplén y taludes del orden de 0,25 metros.

Es deseable que la pendiente del talud del ala guarde relación con la pendiente del talud de terraplén en coincidencia con la estructura. Esto hace que la pendiente del talud del ala esté condicionada por el talud del terraplén y el ángulo del ala respecto al eje del camino.

Con el objeto de generalizar términos puede convenirse que la pendiente del ala se mida sobre la proyección en un plano normal al eje del camino.

De acuerdo a lo expresado en relación a los taludes de los terraplenes en proximidades de las obras de arte, se estima deseable diseñar pendientes de talud de alas del orden de 1:2.

En la siguiente tabla, se consignan costos relativos de distintas alternativas respecto a la geometría de las alas, adoptando como valor unitario la solución de alas a 45°, con cono terminal y sin aletas.

Cuadro 4: Costos relativos de alternativas de muros de ala.

<i>Angulo α</i>	<i>Aletas</i>	<i>Relación de Costos</i>	<i>Observaciones</i>
45°	Sin	1,00	Con Cono terminal
	Con	1,26	
	Sin	1,38	Terminal a nivel de Terreno
30°	Sin	0,98	Con Cono terminal
	Con	1,05	
	Sin	1,19	Terminal a nivel de Terreno

Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

1.1.5. CARGAS SOBRE ALCANTARILLAS.-

Las alcantarillas están sometidas a dos estados de cargas principales:

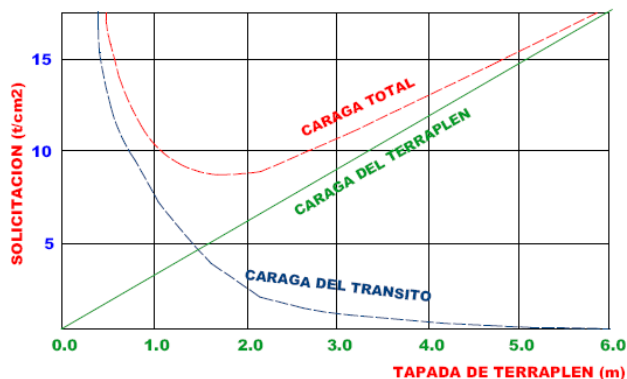
- a) **Solicitaciones debidas a las cargas del tránsito.** Su valor se hace máximo cuando no hay recubrimiento de terraplén sobre el conducto (tapada). En este caso la parte superior de la alcantarilla actúa como superficie de rodadura. En la

medida que se incrementa la tapada aumenta la distribución de las cargas y disminuyen las solicitaciones sobre la alcantarilla.

- b) Solicitaciones debidas al peso del Terraplén.** Se incrementan en la medida que aumenta la tapada. Este tipo de solicitaciones es función del material de terraplén y del tipo de estructura resistente de la alcantarilla.

En la siguiente figura se representa un diagrama de solicitaciones sobre una alcantarilla, para una determinada carga de tránsito y un dado tipo de estructura y de material de relleno, en relación a la variable tapada de terraplén sobre el conducto.

Figura 26: Solicitaciones actuantes sobre una alcantarilla.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

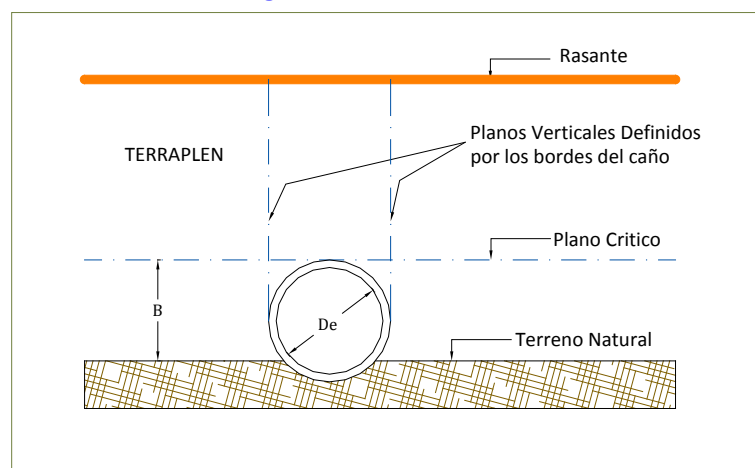
En relación al referido diagrama pueden hacerse las siguientes reflexiones:

- Las tensiones determinantes para el diseño de una estructura corresponden a las de las solicitaciones del tránsito para bajas tapadas y a las del peso del terraplén para elevados rellenos. Una tensión seleccionada racionalmente para el diseño de un plano tipo definiría en consecuencia un rango entre la tapada mínima y la máxima en que puede ser empleada la estructura.

- En secciones circulares deben adoptarse espesores apreciables de tapada mínima (del orden de 0,50m a 0,60m) para obtener estructuras razonablemente económicas.
- Se presenta un rango de tapadas (en el orden de 1,00 a 2,00 metros) en que las solicitaciones asumen su más bajo valor.
- Es necesario, una vez dimensionado el plano tipo para sus reales estados de carga durante el uso de la carretera, verificar las tapadas mínimas que requerirán estas estructuras durante la ejecución de las obras para el paso de los equipos más usuales empleados en la construcción de carreteras.

La magnitud de la carga estática que actúa sobre una alcantarilla no es sólo función del peso del material ubicado sobre el mismo, sino también de ciertos esfuerzos cortantes que se generan en los planos verticales definidos por los bordes del conducto. Estos esfuerzos son causados por asentamientos diferenciales entre el prisma del suelo situado sobre el conducto y los prismas adyacentes y de acuerdo al movimiento relativo entre estos prismas, puede 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 que pasa sobre la parte superior de una alcantarilla (losa si es sección rectangular, clave si es circular o abovedada).

Figura 27: Plano Crítico.

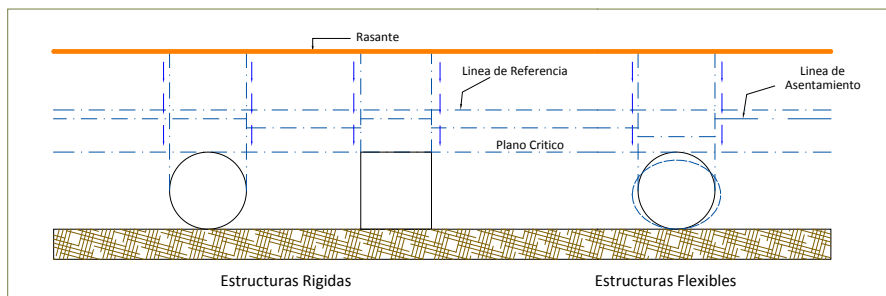


Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

Las solicitaciones que actúan sobre el conducto son función del grado de rigidez de la estructura. Se pueden presentar dos tipos resistentes: Rígidos y flexibles.

1.1.5.1. Son estructuras rígidas aquellas construídas con hormigón, mampostería, perfiles de hierro y que no admiten deformaciones apreciables. Para estas condiciones los prismas de terraplén adyacentes a los conductos situados por debajo del plano crítico sufren un asentamiento mayor que el prisma que contiene a la estructura, dada su rigidez se la considera indeformable.

Figura 28: Asentamiento del terraplén debido a la presencia de la estructura.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

Esto hace que se generen esfuerzos de corte en los planos verticales definidos por los bordes del conducto, que transfieren cargas hacia la estructura incrementando los valores del peso propio del terraplén. Tal transferencia puede llegar a duplicar los esfuerzos geostáticos normales.

Esta situación disminuye notablemente la capacidad de este tipo de estructuras para soportar elevados espesores de terraplén. En general alturas de tapada del orden de 6 a 8 metros ya no hacen económico el empleo de este tipo de estructuras.

1.1.5.2. Son estructuras flexibles aquellas construídas con chapa ondulada y que admiten deformaciones verticales de hasta un 5 % de su diámetro, sin sufrir disminuciones apreciables en su resistencia estructural.

Al ser la rigidez de esta estructura inferior a la del terraplén, admite en consecuencia un mayor asentamiento relativo. Tal situación permite una transferencia parcial de la carga que debería actuar sobre el conducto hacia los prismas del suelo adyacente al mismo. Esto hace que la carga actuante sea menor que el peso del material ubicado sobre el conducto.

El diferente comportamiento estructural de estos dos tipos de conductos define en consecuencia, rangos de tapada que definen la selección de la tipología de alcantarilla para cada condición emergente.

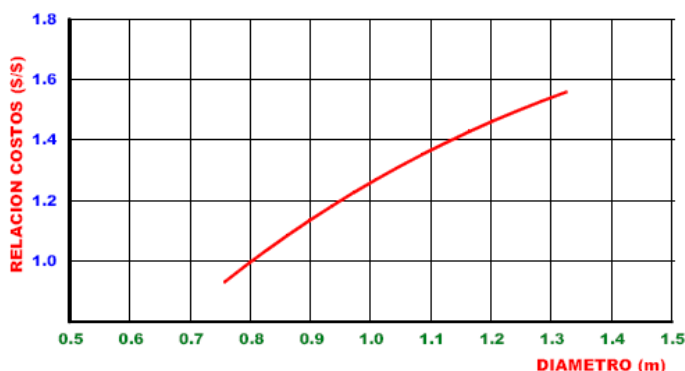
1.1.6. MEDIDAS MINÍMAS.-

No se recomiendan dimensiones en la sección transversal inferiores a 1,00 m, ya que deben permitir el pasaje de operarios para efectuar reparaciones o limpieza de obstrucciones en el interior de la misma. Sin embargo existe bibliografía en la que se recomienda como diámetro mínimo de alcantarillas 0,80 metros, este es el caso de lugares relativamente planos en los que las velocidades de escurrimiento son tales que no existe socavación en el terreno, por lo tanto tampoco existe gran arrastre de sedimentos.

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.

Cabe consignar que, en alcantarillas de pequeñas dimensiones, el incremento de costos en relación al aumento de su sección de escurrimiento, no responde a una progresión directa. La incidencia de los muros de cabecera y los relativamente altos volúmenes de materiales que requieren tales estructuras, hacen muy elevado el costo por unidad de sección de escurrimiento. En la medida que se incrementa dicha sección disminuyen tales costos unitarios.

Figura 29: Relación de costos por alcantarilla de tubos de hormigón.

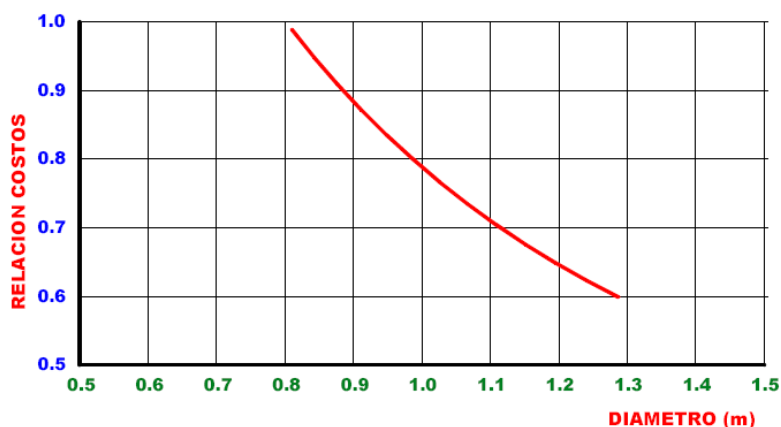


Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

En la figura anterior se representa la relación de costos (tomando como base al costo unitario de una alcantarilla de tubos de hormigón de 0,80 m de diámetro) para tubos de 0,80 m; 1,00 m y 1,30 m. En la misma puede observarse que para una alcantarilla de tubos de hormigón (con muros de cabecera) el elevar un diámetro de 0,80 m a 1,00 m, significa sólo un incremento de costo del orden de 25%, mientras que la sección de escurrimiento aumenta a un 56%.

Si se analiza el costo por metro cuadrado de sección es notable también su disminución en relación al incremento del diámetro. En la figura siguiente se representa tal relación. En la misma puede observarse que para un costo unitario del diámetro 0,80 m. el costo disminuye a 0,79 para el diámetro 1,00 m.

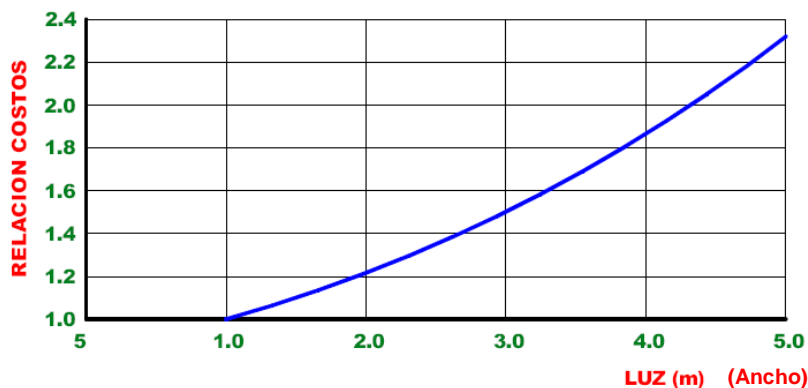
Figura 30: Relación de costos por metro cuadrado de sección de conducto para alcantarillas de tubos de hormigón.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

En forma similar, ahora en función de la luz, puede analizarse el caso de secciones rectangulares ver Figura 31. En dicha gráfica puede observarse que el aumento de una luz de 1,00 metro a una de 2,00 metros (duplicamos la sección), significa sólo un incremento de costos del orden del 22 %, mientras que triplicar la sección sólo se encarece la estructura en un 50 %.

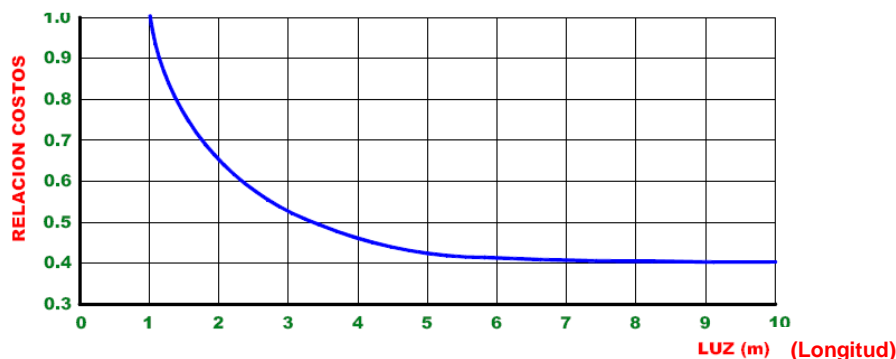
Figura 31: Relación de costos por alcantarilla de sección rectangular de hormigón.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

Si analizamos el costo por metro de luz ver Figura 32 (siempre considerando relación de costos para el costo unitario de la luz de 1,0 metro) puede observarse que el costo por metro cae a 0,65 para la luz de 2,0 metros, como así también para una luz de 3 metros el costo por metro cae a 0,53. Esta disminución de costos se hace cada vez menor, hasta que a partir de 5 m. de luz se hace prácticamente constante.

Figura 32: Relación de costos por metro de luz para alcantarillas de sección rectangular de hormigón.



Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

1.1.7. PENDIENTES DE LAS ALCANTARILLAS:

Es recomendable que la pendiente en las alcantarillas sea la misma que la del lecho de la corriente. Si la pendiente de la alcantarilla es mayor, el extremo inferior de la misma tiende a taparse, y por el contrario, si la pendiente es menor que la del cauce es el extremo superior el que se obstruye.

Sin embargo, cuando se trata de una alcantarilla sobre una hondonada en terreno montañoso de fuerte pendiente, si se hace la alcantarilla con la pendiente del cauce resultaría que la intersección de la alcantarilla con el talud del lado de aguas abajo del terraplén, quedaría muy alejada del centro del camino provocando con ello una estructura muy larga y muy costosa. En estos casos es preferible dar a la alcantarilla una pendiente bastante menor y construir en su salida, sobre el talud del terraplén, un canal de mampostería o de concreto por el que escurra el agua hasta llegar al terreno natural.

La pendiente ideal para una alcantarilla es la que no ocasiona sedimentación ni velocidad excesiva, y evita la erosión; como así también es aquella que exige menor longitud y facilita el reemplazo del conducto en caso necesario.

En tubos de hormigón no deberían diseñarse pendientes inferiores a 0,5%. En alcantarillas de hormigón de sección rectangular con platea, la pendiente mínima será función de la altura del escurrimiento. Podría establecerse que para secciones de baja altura, pendientes del orden de 0,5 % superan la pendiente crítica, mientras que son necesarias pendientes del orden de 1,2 % para elevadas alturas. Si el fondo del conducto no lleva platea y la superficie es de tierra, estos valores deben incrementarse en un 50%, y si es de grava en un 100%.

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

1.1.8. VELOCIDADES DE ESCURRIMIENTO EN LAS ALCANTARILLAS.-

Los valores de la velocidad de escurrimiento están en función de la pendiente de la alcantarilla como así también del tipo de material del que está constituida dicha estructura.

Es recomendable que la velocidad del flujo en líneas de alcantarillas no sea menor de 0,60 m/s para proporcionar una acción de auto limpieza, es decir, capacidad de arrastre de partículas en suspensión. En casos especiales podrán emplearse velocidades de 0,40 m/s en tramos iniciales y con bajo caudal.

La velocidad máxima recomendada es de 5,0 m/s. y para velocidades mayores se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones especiales para la disipación de energía, evitando la erosión de cualquier estructura componente de la alcantarilla.

1.1.9. TALUDES DE TERRAPLÉN SOBRE ALCANTARILLAS.-

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

Además, es común que las obras del movimiento de suelos se ejecuten con taludes más tendidos que los especificados en los planos, resultando insuficiente la longitud del conducto prevista en el proyecto. Esta deficiencia suele verse agravada ya que se ha observado que a veces se construye un mayor ancho de coronamiento sin modificar en obra la longitud de diseño de la alcantarilla. Este mayor ancho de coronamiento aparenta, en relación a la vista de los muros o pilares de las cabeceras de las alcantarillas, un estrechamiento del coronamiento, configurando un pobre efecto estético.

Es importante que la inspección de las obras modifique la longitud de los conductos adecuándola al ancho de coronamiento y ocupación de taludes que realmente

construya el contratista. Se estima conveniente adoptar taludes de terraplén con pendiente 1:2 en cercanías a las obras de arte.

1.1.10. FUNDACIÓN DE ALCANTARILLAS.-

Las alcantarillas son obras de arte que, por estar ubicadas en las partes bajas, 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 se da especialmente en zonas en montaña y /o cauces con lechos erosivos.
- Suelos arcillosos de muy mala calidad con elevado contenido de materia orgánica y humedad. Estas condiciones son frecuentes en áreas de llanura con deficiente drenaje.
- Presencia de agua libres y napas freáticas.
- Suelos inestables, como ser mallines, ñaus, turbas, etc.
- Medios agresivos que provocaran procesos corrosivos en las estructuras.
- Terrenos de fundación heterogéneos conformados por suelos y rocas.

Esto hace necesario realizar estudios de suelos para fundación de todas las obras de arte camineras.

a) 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 casa grande y ensayo de penetración estándar. En caso necesario, y de acuerdo a los resultados obtenidos con las determinaciones anteriores, se efectuarán otros ensayos y/o determinaciones complementarias especiales para definir el comportamiento físico mecánico del suelo en contacto con la fundación.

La distancia entre sondeos y la profundidad del reconocimiento dependerá del tipo de estructura y de las características generales del terreno. Se estima conveniente realizar como mínimo dos sondeos por obra, cualquiera sea la superficie cubierta por la

misma, y que cada sondeo cubra un área no mayor de la de un círculo de diez metros de radio. En caso que se comprueben condiciones geotécnicas muy heterogéneas se intercalan sondeos para definir con precisión el perfil resultante.

b) Fundaciones sobre rocas.

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

En este caso las tensiones que ellas originan, sobre la masa de fundación afectada son muy bajas frente a la resistencia de la roca, lo cual hace que ésta se manifieste a veces como un material frágil. En estas condiciones el comportamiento de la roca es errático y la rotura se origina en los defectos tales como poros, fisuras, etc. Esta problemática se soluciona en la práctica adoptando coeficientes de seguridad muy conservativos. La norma DIN 1054 consigna para roca poco diaclasada, sana, no meteorizada, y con estratificación favorable los valores indicados en el cuadro 5.

Cuadro 5: Cargas admisibles sobre roca norma DIN 1054.

DESCRIPCIÓN DE LA ROCA	CARGA ADMISIBLE (Kg/cm)
Con Estratificación Marcada	15
En Estado Masivo Columnar	29
Para roca muy diaclasada o con estratificación desfavorable reducir los valores a la mitad.	

Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas 1.

El código de práctica británico Nro., 4 consigna valores más detallados, los cuales se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6: Cargas admisibles sobre roca código de práctica británico C.P.4.

DESCRIPCIÓN DE LA ROCA	CARGA ADMISIBLE (Kg/cm)
Roca ignea o gneisica sana	107
Calizas con estratificación masiva y areniscas duras	43
Esquisitos y pizarras	32
Lutitas duras, limonitas y areniscas blandas	21
Lutitas arcillosas	11
Creta dura y sana	6

Fuente: Cornero Guillermo A., Proyecto construcción y conservación de alcantarillas.

Cuando el plano de fundación está compuesto por suelo y roca, la cimentación se torna más compleja, ya que debe adicionarse la problemática de la concentración de tensiones que provocarían los asentamientos diferenciales.

Esto hace necesario excavar el suelo en toda el área de la fundación dejando solamente como superficie de asiento de la cimentación el piso de roca.

1.1.11. MÉTODOS DE DISEÑO DE ALCANTARILLAS.-

El diseño de las alcantarillas tiene como objetivo fundamental determinar las dimensiones del área hidráulica necesaria que pueda permitir el paso de las aguas transversalmente al camino.

Hay tres procedimientos generales para determinar el tamaño de una alcantarilla.

- Por Comparación.
- Determinación directa del área hidráulica de la alcantarilla.
- Determinación del área hidráulica en base a una previa estimación de caudales.

1.1.11.1. Procedimiento por Comparación: Inspección de estructuras viejas existentes aguas arriba o abajo.

- ***Método por Comparación:***

Dentro del diseño de carreteras es frecuente encontrar zonas de condiciones climatológicas similares donde deben emplazarse alcantarillas o en su caso ríos o quebradas que cortan transversalmente al camino varias veces en un mismo tramo, esta situación permite que puedan dimensionarse por comparación con otras ya existentes cuyo funcionamiento haya sido comprobado y con buenos resultados. El método no hace más que adoptar las mismas dimensiones de la alcantarilla ya conocida y proceder a su ejecución.

1.1.11.2. Determinación Directa del área hidráulica.- Uso de fórmulas empíricas que proporcionan directamente el tamaño de la sección requerida.

- ***Método de Talbot:***

Es especialmente usado cuando no ha existido ninguna alcantarilla en el lugar y cuando no hay datos respecto al gasto máximo del arroyo, ni datos de precipitación pluvial.

Debido a la simplicidad con que da directamente el tamaño de una alcantarilla, la fórmula de Talbot sigue gozando de popularidad. Es una fórmula empírica basada en un gran número de observaciones y no tiene en cuenta la intensidad de la lluvia (en mm por hora), ni la velocidad del escurrimiento, ni otros factores racionales.

La ecuación fundamental planteada por su autor o fórmula de Talbot profesor de la universidad de Illinois es la siguiente:

$$a = 0.183 * c * \sqrt[4]{A^3}$$

Donde:

a = Área hidráulica de la alcantarilla a calcular (m²)

C = Coeficiente relacionado con las características del terreno (adimensional)

A = Área de la cuenca a ser drenada en (Has)

Los valores que toma el coeficiente C en función de las características del terreno son consignados en el capítulo 2.

En este método la variable fundamental es el área de la cuenca por lo que su uso se recomienda cuando se dispone de buena información sobre la superficie de la cuenca.

1.1.11.3. Determinación del área hidráulica en base a una previa estimación de caudales.- Uso de fórmulas para hallar la cantidad de agua que llega a la alcantarilla, empleando luego una segunda fórmula para determinar el tamaño adecuado para descargar dicho caudal. Entre los más usuales tenemos:

- ***Método de Sección y Pendiente:***

Utiliza como parámetros la sección transversal de la quebrada o río donde se quiere diseñar la alcantarilla y la pendiente longitudinal del lecho del río aprovechando la ecuación de Manning:

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

Donde:

Q = Caudal (m³/seg)

n = Coeficiente de Rugosidad de Manning

A = Área de la sección (m²)

R = Radio Hidráulico (Área de la sección entre el perímetro mojado) (m)

S = Pendiente longitudinal (m/m)

Donde las variables conocidas son el área, perímetro mojado, pendiente longitudinal y coeficiente “n”, con lo que se determina fácilmente el caudal.

Determinado ese caudal se vuelve a la misma ecuación en la que el caudal obtenido, la pendiente y el coeficiente “n” de la alcantarilla aparecen como dato, y la variable a determinar es la sección hidráulica de la obra.

- ***Método de Precipitación Pluvial:***

Este método también empírico que hizo una modificación a la ecuación racional considerando que es importante tomar en cuenta la pendiente longitudinal del lecho del río, la relación que nos permite calcular el caudal es la siguiente:

$$Q = 0.022 * c * i * A * \sqrt[4]{\frac{S}{A}}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/seg)

c = Coeficiente de escorrentía

i = Intensidad de precipitación (cm/hr) (10 min. max. Concentración)

S = Pendiente longitudinal del lecho (m/Km)

A = Área de la cuenca (Has)

Esta ecuación también puede ser usada siempre y cuando se conozcan datos confiables de intensidad de precipitación, área de aporte de la cuenca, pendiente longitudinal del lecho del río.

- ***Método Racional:***

Este método fue desarrollado en 1889 pero por su sencillez es uno de los más utilizados en la actualidad, y nos permite determinar el caudal máximo que escurrirá por una determinada sección, bajo el supuesto que éste acontecerá para una lluvia de intensidad máxima constante y uniforme en toda la superficie de la cuenca correspondiente a una duración (d) igual al tiempo de concentración de la misma.

Según la bibliografía consultada, este método es recomendable utilizarlo para cuencas pequeñas, con áreas menores a 5 km² o su equivalente a 500 Has.

La expresión es la siguiente:

$$Q = \frac{c * i * A}{360}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

c = Coeficiente de escorrentía.

i = Intensidad de precipitación para una duración igual al tiempo de concentración, en (mm/hr).

A = Área de la cuenca en Has.

En el siguiente cuadro, se presentan los valores del coeficiente de escorrentía para ser usados en el método Racional.

Cuadro 7: Valores del coeficiente de escorrentía para ser usados en el método Racional.

Características de la superficie	Periodo de Retorno (Años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.9	0.95	1
Concreto / Techo	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97	1
Zonas Verdes (Jardines, parques, etc.)							
Condición Pobre (Cubierta de pasto menor del 50 % del área)							
Plano, 0 - 2 %	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2 - 7 %	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición Promedio (Cubierta de pasto del 50 al 75 % del área)							
Plano, 0 - 2 %	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2 - 7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
Condición Buena (Cubierta de pasto mayor del 75 % del área)							
Plano, 0 - 2 %	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2 - 7 %	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivo							
Plano, 0 - 2 %	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2 - 7 %	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.6
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0 - 2 %	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2 - 7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
Bosques							
Plano, 0 - 2 %	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2 - 7 %	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Ven Te Chow "Hidrología Aplicada"

- **Método del Hidrograma Unitario de Mockus:**

Mockus desarrolló un hidrograma unitario sintético de forma triangular, que es usado por el SCS (Soil Conservation Service), el cual a pesar de su simplicidad proporciona los parámetros fundamentales del hidrograma: caudal pico (q_p), tiempo base (t_b) y el tiempo en que se produce la punta (T_p).

La expresión es la siguiente:

$$Q = Pe * q_p$$

Donde:

$Q =$ Caudal máximo en (m^3/s)

$Pe =$ Precipitación Efectiva en (mm)

$q_p =$ Caudal Unitario en ($m^3/s*mm$) o caudal pico para una Pe igual a 1 mm

Cálculo del Caudal Unitario. Este parámetro corresponde al siguiente modelo:

$$q_p = \frac{0.208 * A}{T_p}$$

Donde:

$A =$ Área de la cuenca en (Km^2)

$T_p =$ Tiempo al Pico en (hr)

$$T_p = \frac{de}{2} + Tr$$

Donde:

$de =$ Duración Efectiva en (hr)

$T_p =$ Tiempo al Pico en (hr)

$Tr =$ Tiempo de Retardo en (hr)

$$de = 2 * \sqrt{tc}$$

$$Tr \cong 0.6 * tc$$

Donde:

t_c = Tiempo de concentración en (hr)

Además,

$$t_c = 0.95 * \left[\frac{(L_p)^3}{\Delta H} \right]^{0.385} \quad \text{Fórmula de California Highway \& Public Work.}$$

Donde:

L_p = Longitud del curso principal en (Km)

ΔH = Desnivel máximo de la cuenca en (m)

Cálculo de la Precipitación Efectiva. La precipitación efectiva fue determinada a partir de la siguiente expresión:

$$Pe = \frac{\left(he - \frac{508}{CN} + 5.08 \right)^2}{he + \frac{2032}{CN} - 20.32}$$

Donde:

Pe = Precipitación Efectiva en (cm)

he = Precipitación correspondiente a una duración igual al tiempo de retardo en (cm) (determinada con las ecuaciones de las curvas de Intensidad – Duración y Frecuencia)

CN = Número de curva (Método del SCS)

Número de Curva.- Según una caracterización de cada zona, el número de curva es determinado de las tablas de Caracterización Método Soil Conservation Service (SCS). En el siguiente cuadro se presenta los valores de CN para las diferentes condiciones de terreno.

Cuadro 8: Valores de CN según Soil Conservation Service - (SCS).

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente de terreno en %	Tipo de Suelo			
			A	B	C	D
Sin Cultivo	Surcos Rectos	-----	77	86	91	94
Cultivos en Surco	Surcos Rectos	> 1	72	81	88	91
	Surcos Rectos	< 1	67	78	85	89
	Contorneo	> 1	70	79	84	88
	Contorneo	< 1	65	75	82	86
	Terrazas	> 1	66	74	80	82
	Terrazas	< 1	62	71	78	81
Cereales	Surcos Rectos	> 1	65	76	84	88
	Surcos Rectos	< 1	63	75	83	87
	Contorneo	> 1	63	74	82	85
	Contorneo	< 1	61	73	81	84
	Terrazas	> 1	61	72	79	82
	Terrazas	< 1	59	70	78	81
Leguminosas o praderas con rotación	Surcos Rectos	> 1	66	77	85	89
	Surcos Rectos	< 1	58	72	81	85
	Contorneo	> 1	64	75	83	85
	Contorneo	< 1	55	69	78	83
	Terrazas	> 1	63	73	80	83
	Terrazas	< 1	51	67	76	80
Pastizales	-----	> 1	68	79	86	89
	-----	< 1	39	61	74	80
	Contorneo	> 1	47	67	81	88
	Contorneo	< 1	6	35	70	79
Pradera permanente	-----	< 1	30	58	71	78
Bosques Naturales						
Muy Ralo	-----	----	56	75	86	91
Ralo	-----	----	46	68	78	84
Normal	-----	----	36	60	70	77
Espeso	-----	----	26	52	62	69
Muy Espeso	-----	----	15	44	54	61
Caminos						
De Terracería	-----	----	72	82	87	89
Con Superficie Dura	-----	----	74	84	90	92
Tipo de Suelo	Textura del Suelo					
A	Arenas con poco limo y arcilla; Suelos Muy Permeables.					
B	Arenas Finas y Limos.					
C	Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla.					
D	Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con sub horizontes de roca sana; suelos muy impermeables.					

Fuente: Ven Te Chow – Hidrología Aplicada.

CAPÍTULO II

METODOLOGIA

2.1. METODOLOGÍA EXPEDITIVA PARA EL CÁLCULO DE ALCANTARILLAS

2.1.1. INTRODUCCIÓN.-

La aplicación de la fórmula de Talbot como un método de diseño de secciones de alcantarillas se debe en especial a la poca información que se requiere dentro de los parámetros de dicha fórmula.

Es un método muy utilizado para estimar el área de descarga en estructuras de drenaje para caminos secundarios, es decir que vinculan comunidades en las cuales el volumen de tráfico es relativamente bajo; y una de sus particularidades es que permite calcular de manera directa la sección hidráulica de una alcantarilla en función del área y las características topográficas de la cuenca a drenar.

La fórmula de Talbot fue determinada mediante observaciones en zonas de alta precipitación pluvial (hasta una intensidad de 100 mm/hr), en los Estados Unidos de Norte América.

La ecuación fundamental o fórmula del profesor Talbot de la Universidad de Illinois es la siguiente:

$$a = 0.183 * C * \sqrt[4]{A^3}$$

Donde:

a = Área hidráulica de la alcantarilla a calcular (m²)

C = Coeficiente relacionado con las características del terreno (adimensional).

A = Área de la cuenca a ser drenada en (Has.)

2.1.2. PRINCIPIOS DEL MÉTODO TALBOT.-

Los principios bajo los cuales este método se debe aplicar son los siguientes:

- Este método es aplicable solamente a estructuras de drenaje menor.
- No requiere realizar estudios previos en referencia a la hidrología de la cuenca.
- Este método se aplica a pequeñas cuencas o subcuencas, del orden de los 10 kilómetros cuadrados o 1.000,00 hectáreas como máximo.
- Los datos requeridos son de fácil obtención.

2.1.3. PARÁMETROS DEL MÉTODO TALBOT.-

Los parámetros de diseño que intervienen en la fórmula experimental del método de Talbot son los siguientes:

C = Es el coeficiente de Talbot (adimensional), El coeficiente de Talbot es un valor que debe ser determinado de acuerdo a las características topográficas de la cuenca es decir del tipo de terreno en el cual se diseña la vía de comunicación.

Cuadro 9: Valores del coeficiente "C" de Topografía para la fórmula de Talbot.

Naturaleza del Terreno	Coeficiente "C"	Pmc (%)
Plano	0,20	0% < Pmc ≤ 7%
Ligeramente Ondulado	0,30	7% < Pmc ≤ 14%
Ondulado	0,50	14% < Pmc ≤ 20%
Lomerío	0,60	20% < Pmc ≤ 30%
Lomerío Fuerte	0,80	30% < Pmc ≤ 35%
Montañoso	0,9 a 1,0	Pmc > 35%

Fuente: Crespo Villalaz "Vías de Comunicación".

A = Es el área de la cuenca a drenar expresado en Has. y su valor deberá ser determinado de la forma más exacta posible.

a = Es el área hidráulica necesaria que deberá tener la alcantarilla a proyectarse cuyo valor estará expresado en metros cuadrados.

$$a = 0.183 * C * \sqrt[4]{A^3}$$

2.1.4. PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO CON EL MÉTODO DE TALBOT.-

Este método se aplica a estructuras de drenaje menor, por lo que las áreas consideradas son generalmente carreteras departamentales y municipales (caminos de segundo y tercer orden); otra de las condiciones de uso de este método es que sólo es utilizado en cuencas hidrográficas cuya área máxima no supera las 1.000,00 hectáreas o 10 kilómetros cuadrados. El proceso de cálculo es el siguiente:

- a) **Definir el área de la cuenca.-** Delimitando la partición de aguas que llegan a la cuenca hidrográfica. Para definir esta área se deben marcar todos los cursos de fondo o cauces de la cuenca, luego delimitar todas las particiones de aguas o divisorias de aguas (cuenca topográfica), deberá ser circuito cerrado, partiendo desde el punto de interés para el paso por éste, luego siguiendo en dirección de las agujas del reloj, por todas las divisorias hasta completar el circuito. El área de la cuenca, se puede obtener por diferentes métodos topográficos, fotografías aéreas, planos cartográficos, etc.
- b) **Medir el área de la cuenca.-** En la medición del área de la cuenca pueden utilizarse varios métodos, los cuales varían debido a la exactitud de los mismos, entre ellos están:
 - Contar la cuadrícula de mapas.
 - Área por coordenadas.
 - Uso de planímetro.
 - Delimitar la cuenca sobre la carta geográfica o sobre una imagen satelital del terreno, con la ayuda de software especializado.
- c) **Determinar el Coeficiente “C”.-** De acuerdo a las características de la cuenca, se identifica el tipo de terreno y sus condiciones. Con las cuales se establece la pendiente media de la misma, pudiendo ser: terreno plano, ondulado, montañoso o un rango intermedio entre cada uno de ellos. Los

valores del coeficiente C dependen de las características del terreno citadas anteriormente.

Para el cálculo de la pendiente media de la cuenca existen varias fórmulas empíricas, según la bibliográfica consultada una fórmula práctica y sencilla es la siguiente:

$$P_{mc} = \left[\frac{2 * \Delta H}{P} \right] * 100$$

Donde:

P_{mc} = Pendiente media de la cuenca en, (%)

ΔH = Desnivel máximo de la cuenca en, (m)

P = Perímetro de la cuenca en, (m)

d) Calcular el área hidráulica.- Una vez realizados ya los pasos anteriores, la única incógnita en la ecuación de Talbot será el área hidráulica de la alcantarilla. Introduciendo los valores del coeficiente “C” y el área de la cuenca se obtendrá la sección requerida para drenar las aguas.

2.1.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO DE TALBOT.-

Entre las ventajas de este método podemos mencionar las siguientes:

- Es una expresión matemática sencilla de fácil aplicación.
- Depende solamente del área y de las características topográficas de la cuenca en estudio.
- No requiere de datos de intensidad de precipitación ni de la estimación de caudales para la determinación del área hidráulica necesaria para la alcantarilla.
- Puede ser aplicado para el diseño de alcantarillas en carreteras que se encuentren en zonas donde no se dispone de datos hidrológicos.
- Su aplicación está recomendado para carreteras departamentales y municipales.

En contraposición a esto podemos mencionar las siguientes desventajas del método de Talbot:

- Su aplicación no es recomendada para carreteras de primer orden o de la red fundamental, debido a sus limitaciones en la utilización de datos hidrológicos que nos permiten la determinación de un caudal de diseño que posibilite la realización del diseño hidráulico para cada alcantarilla. No pudiendo cumplir las exigencias del diseño de drenaje en carreteras de primer orden.
- Para elegir correctamente el coeficiente “C” de Talbot, debe conocerse a cabalidad la morfología de la cuenca, es decir la topografía y su relieve, para lo que se necesita información cartográfica o imágenes satelitales que muchas veces no se las consigue fácilmente.
- Su aplicación se limita a una superficie de cuenca no mayor a los 10 kilómetros cuadrados o su equivalente 1.000,00 Hectáreas.

En el transcurso del presente trabajo de grado, se realizará un análisis evaluativo de los resultados obtenidos por el método expeditivo de Talbot comparándolo con dos métodos convencionales. Los mismos fueron presentados en el capítulo anterior.

CAPÍTULO III

VALIDACIÓN Y APLICACIÓN DEL MÉTODO EXPEDITIVO

3.1. INTRODUCCIÓN.-

En el presente capítulo se realiza la aplicación del Método de Talbot, descrito en el Capítulo 2, primero en las 90 cuencas identificadas en las tres zonas del área de estudio y posteriormente luego de haber realizado la corrección del coeficiente (C) de Talbot, en los tres tramos correspondientes a cada zona.

Se identifican tres zonas de características climatológicas diferentes, en cada una de ellas se buscan diez estaciones meteorológicas que dispongan de registros históricos de precipitaciones.

3.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.-

Se definió como área de estudio al departamento de Tarija, que puede zonificarse de acuerdo a sus características climatológicas en tres zonas:

- Zona Alta.
- Zona del Valle Central.
- Zona del Chaco.

Para cada una de estas zonas se buscó en los registros del SENAMHI, datos correspondientes a precipitaciones máximas en 24 horas, encontrándose 10 estaciones por zona, haciendo un total de 30 estaciones las mismas que se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 10: Estaciones Meteorológicas utilizadas para el análisis de las 90 cuencas dentro del área de estudio.

N °	Zona	Estación	Provincia	Altura de Precip. Med. Anual	Latitud " S "	Longitud " W "	Altura m.s.n.m.	Años Reportados	Cantidad de años Reportados	Años con Registros Completos
1	Alta	Campanario	MéndeZ	360.4	21°30'45"	64°58'32"	3460	1988 - 2010	23	18
2	Alta	Tojo	MéndeZ	314.2	21°49'08"	65°19'35"	2643	1975 - 2009	24	19
3	Alta	Tucumillas	MéndeZ	815.0	21°27'40"	64°49'52"	2557	1977 - 2010	34	32
4	Alta	Yesera Norte	Cercado	666.4	21°22'20"	64°33'03"	2277	1977 - 2009	31	29
5	Alta	Tomayapo Pueblo	MéndeZ	231.8	21°16'06"	65°02'42"	2734	1981 - 2010	30	25
6	alta	Copacabana	Avilés	346	21°48'00"	65°06'00"	3200	1970 - 1993	24	13
7	alta	El Molino	MéndeZ	468.1	21°22'00"	64°57'00"	3200	1981 - 2003	23	19
8	alta	Sama Cumbre	MéndeZ	749.5	21°29'30"	64°58'55"	3820	1980 - 1999	20	18
9	alta	Sama Iscayachi	MéndeZ	411.5	21°28'25"	64°57'05"	3440	1979 - 1993	15	13
10	alta	San Antonio	MéndeZ	360.2	21°16'00"	64°58'00"	3450	1975 - 1995	21	18
11	Valle	Aeropuerto - Tarija	Cercado	604.8	21°32'48"	64°42'39"	1849	1954 - 2009	56	53
12	Valle	Coimata	MéndeZ	732.7	21°29'00"	64°47'00"	2000	1980 - 2010	31	30
13	Valle	El Tejar	Cercado	625.5	21°32'36"	64°43'16"	1859	1970 - 2010	41	36
14	Valle	Pinos Sud	Cercado	1121.9	21°44'00"	64°53'00"	2100	1972 - 2010	39	32
15	Valle	San Andrés	Cercado	1097.2	21°37'24"	64°48'54"	1987	1975 - 2010	36	33
16	Valle	San Jacinto Sud	Cercado	601.3	21°36'37"	64°43'12"	1820	1975 - 2010	36	31
17	Valle	Turumayo	Cercado	885.4	21°33'24"	64°46'42"	1978	1999 - 2010	12	11
18	Valle	Cenavit	Avilés	458.3	21°41'31"	64°39'29"	1730	1989 - 2010	22	18
19	Valle	Juntas	Avilés	737.6	21°48'37"	64°47'51"	1882	1975 - 2010	36	34
20	Valle	Sella Quebradas	MéndeZ	606.8	21°23'11"	64°40'52"	2145	1986 - 2010	25	21
21	Chaco	Algarrobillas	Gran Chaco	742.2	21°51'20"	63°17'38"	468	1977 - 2009	33	18
22	Chaco	Berety	O'connor	739.8	21°26'42"	64°02'17"	1103	1979 - 2010	20	12
23	Chaco	Itau	Gran Chaco	947.5	21°42'15"	63°52'07"	970	1974 - 2009	33	20
24	Chaco	Palmar Grande	Gran Chaco	760.1	21°31'53"	63°26'31"	464	1978 - 2009	32	19
25	Chaco	Sachapera	Gran Chaco	972.7	21°39'38"	63°33'02"	619	1977 - 2009	33	28
26	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	Gran Chaco	881.1	21°15'17"	63°24'27"	403	1998 - 2009	12	12
27	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	Gran Chaco	1136.6	21°56'58"	63°38'53"	645	1958 - 2009	52	44
28	Chaco	Aguaraycito	Gran Chaco	690.4	21°23'24"	63°24'44"	396	1991 - 2009	19	11
29	Chaco	Palos Blancos	Gran Chaco	659.1	21°24'54"	63°46'53"	763	1975 - 2010	36	29
30	Chaco	Timboy	O'connor	798.1	21°10'27"	64°03'59"	770	1976 - 2009	20	11

Fuente: Elaboración propia.

Luego se determinaron las ecuaciones de intensidad, duración y frecuencia para cada una de las estaciones analizadas, con el objetivo de aplicar métodos convencionales como el racional o el hidrograma unitario de Mockus, para calcular los caudales, a través de estos las áreas hidráulicas que posteriormente serán comparadas con las obtenidas mediante el método expeditivo de Talbot.

3.3. DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN Y FRECUENCIA.-

Para el análisis pluviométrico, fueron analizadas las **precipitaciones máximas en 24 horas** anuales registradas. El análisis de precipitaciones máximas para eventos de menor duración, fue realizado de forma indirecta a través del ajuste de las curvas de Probabilidad Pluviométrica.

Dos conceptos fundamentales a tomar en cuenta en el análisis pluviométrico y la posterior estimación de caudales máximos son los siguientes:

Período de retorno T (años), es el tiempo que transcurre en el cual una cierta variable hidrológica es alcanzada o excedida al menos una vez con una probabilidad ($P = 1/T$). Su estimación tiene que ver con la determinación del riesgo hidrológico con el que se diseña una cierta obra. El periodo de retorno definido para el diseño de alcantarillas es de 10 años.

El tiempo de concentración (t_c), es el tiempo que tarda el agua o una determinada gota de agua en llegar desde el punto más remoto de la cuenca hasta el punto de control hidrológico, su determinación se la realizó mediante la fórmula de California Highway & Public Work.

$$t_c = 0.95 * \left[\frac{(L_p)^3}{\Delta H} \right]^{0.385}$$

Donde:

t_c = Tiempo de Concentración (hr)

L_p = Longitud del Curso Principal (km)

ΔH = Desnivel máximo de la cuenca (m)

Las curvas de **intensidad – duración-frecuencia**, sus ecuaciones para diferentes periodos de retorno y para cada estación. Fueron determinadas mediante un análisis de frecuencia de precipitación (procedimiento que se presenta en el Anexo N° I.)

A continuación se presenta un cuadro resumen de las ecuaciones de las curvas de intensidad, duración frecuencia:

Cuadro 11: Resumen de ecuaciones de las curvas IDF para diferentes periodos de retorno.

$$i_{(T)} = \alpha_{(T)} * t^{\beta(T)}$$

Nº	Zona	Estación	T = 5 Años			T = 10 Años			T = 25 Años			T = 50 Años			T = 100 Años		
			α	β	Coef. Corr. r.	α	β	Coef. Corr. r.	α	β	Coef. Corr. r.	α	β	Coef. Corr. r.	α	β	Coef. Corr. r.
1	Alta	Campanario	12.41	-0.61	-0.98	14.08	-0.63	-0.98	17.40	-0.68	-1.00	20.04	-0.72	-1.00	21.82	-0.72	-1.00
2	Alta	Tojo	14.19	-0.68	-0.99	17.38	-0.71	-1.00	19.66	-0.70	-1.00	22.88	-0.72	-1.00	26.16	-0.74	-1.00
3	Alta	Tucumillas	23.88	-0.58	-0.97	28.89	-0.60	-0.98	32.19	-0.58	-0.97	37.70	-0.61	-0.98	44.55	-0.64	-0.99
4	Alta	Yesera Norte	20.82	-0.55	0.96	26.42	-0.60	-0.98	30.84	-0.61	-0.98	34.17	-0.61	-0.98	36.39	-0.61	-0.98
5	Alta	Tomayapo Pueblo	16.24	-0.67	-0.99	21.30	-0.72	-1.00	27.29	-0.75	-1.00	32.02	-0.77	-1.00	36.72	-0.79	-1.00
6	Alta	Copacabana	9.51	-0.48	-0.92	12.94	-0.54	-0.96	15.69	-0.54	-0.96	18.03	-0.56	-0.96	21.11	-0.58	-0.97
7	Alta	El Molino	13.57	-0.52	-0.95	14.05	-0.47	-0.90	18.46	-0.53	-0.96	20.81	-0.54	-0.96	24.27	-0.58	-0.97
8	Alta	Sama Cumbre	20.77	-0.56	-0.97	24.51	-0.59	-0.97	27.61	-0.58	-0.97	30.69	-0.59	-0.97	32.85	-0.59	-0.97
9	Alta	Sama Iscayachi	11.97	-0.53	-0.95	13.66	-0.53	-0.96	16.63	-0.55	-0.96	19.18	-0.57	-0.97	21.20	-0.58	-0.97
10	Alta	San Antonio	10.34	-0.54	-0.96	12.14	-0.55	-0.96	14.54	-0.56	-0.97	16.01	-0.56	-0.97	18.23	-0.58	-0.97
11	Valles	Aeropuerto - Tarija	23.06	-0.56	-0.97	27.60	-0.58	-0.97	32.37	-0.59	-0.98	36.31	-0.60	-0.98	41.69	-0.63	-0.98
12	Valles	Coimata	21.55	-0.58	-0.97	23.81	-0.58	-0.97	26.39	-0.58	-0.97	29.36	-0.59	-0.98	32.48	-0.61	-0.98
13	Valles	El Tejar	24.34	-0.57	-0.97	28.94	-0.58	-0.97	34.63	-0.59	-0.98	38.79	-0.60	-0.98	45.56	-0.63	-0.98
14	Valles	Pinos Sud	28.05	-0.54	-0.96	35.66	-0.58	-0.97	41.91	-0.57	-0.97	48.89	-0.59	-0.98	58.61	-0.63	-0.98
15	Valles	San Andrés	28.82	-0.55	-0.96	34.43	-0.57	-0.97	42.18	-0.59	-0.97	46.95	-0.59	-0.97	54.93	-0.61	-0.98
16	Valles	San Jacinto Sud	23.13	-0.55	-0.96	28.76	-0.58	-0.97	34.28	-0.58	-0.97	38.91	-0.59	-0.97	45.78	-0.62	-0.98
17	Valles	Turumayo	24.06	-0.53	-0.96	27.59	-0.54	-0.96	32.00	-0.56	-0.97	35.86	-0.57	-0.97	41.20	-0.60	-0.98
18	Valles	Cenavit	22.64	-0.56	-0.97	26.79	-0.55	-0.96	32.86	-0.56	-0.96	37.46	-0.57	-0.97	43.36	-0.59	-0.98
19	Valles	Juntas	21.93	-0.55	-0.96	25.66	-0.55	-0.97	30.77	-0.56	-0.97	34.13	-0.56	-0.97	38.33	-0.57	-0.97
20	Valles	Sella Quebradas	23.66	-0.53	-0.96	27.87	-0.55	-0.96	31.35	-0.55	-0.96	35.31	-0.56	-0.97	39.40	-0.57	-0.97
21	Chaco	Algarrobillas	45.37	-0.54	-0.96	58.69	-0.57	-0.97	73.38	-0.57	-0.97	83.36	-0.57	-0.97	98.34	-0.60	-0.98
22	Chaco	Berety	27.59	-0.55	-0.96	33.39	-0.56	-0.97	41.44	-0.58	-0.97	47.25	-0.59	-0.98	54.59	-0.61	-0.98
23	Chaco	Itau	36.74	-0.56	-0.96	43.03	-0.56	-0.96	51.94	-0.57	-0.97	58.29	-0.57	-0.97	67.76	-0.59	-0.97
24	Chaco	Palmar Grande	43.82	-0.56	-0.97	52.97	-0.57	-0.97	63.98	-0.58	-0.97	73.14	-0.59	-0.97	80.64	-0.59	-0.97
25	Chaco	Sachapera	47.42	-0.56	-0.96	56.01	-0.57	-0.97	65.83	-0.57	-0.97	73.02	-0.57	-0.97	86.05	-0.61	-0.98
26	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	33.89	-0.55	-0.96	39.30	-0.55	-0.96	45.07	-0.55	-0.96	51.46	-0.56	-0.97	58.59	-0.58	-0.97
27	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	42.66	-0.54	-0.96	54.55	-0.58	-0.97	51.84	-0.58	-0.97	74.31	-0.59	-0.97	84.28	-0.60	-0.98
28	Chaco	Aguaraycito	41.02	-0.55	-0.96	49.54	-0.57	-0.97	58.07	-0.57	-0.97	65.72	-0.58	-0.97	74.11	-0.60	-0.98
29	Chaco	Palos Blancos	26.01	-0.53	-0.95	30.63	-0.55	-0.96	35.78	-0.56	-0.97	39.86	-0.57	-0.97	45.31	-0.59	-0.98
30	Chaco	Timboy	35.74	-0.56	-0.97	43.61	-0.58	-0.97	50.74	-0.56	-0.97	58.61	-0.57	-0.97	65.35	-0.58	-0.97

Fuente: Elaboración propia

3.4. APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS CONVENCIONALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.-

En el Anexo N° II.2 y II.3 se presenta el detalle de cálculo de los caudales estimados para las 90 cuencas ubicadas en las tres zonas del área de estudio con los métodos convencionales, cuyo resumen de caudales es el siguiente:

Cuadro 12: Resumen de caudales máximos estimados por métodos convencionales para el área de estudio (Zona Alta).

N°	Zona	Estación	Cca	Área Cca		Q Racional m3/s	Q Mockus m3/s
				km2	Ha		
1	Alta	Campanario	C1	0.72	72.00	4.34	6.50
2	Alta	Campanario	C2	1.91	191.00	10.60	13.79
3	Alta	Campanario	C3	0.46	46.00	3.47	7.36
4	Alta	Tojo	C4	0.78	78.00	7.75	16.71
5	Alta	Tojo	C5	1.23	123.00	12.15	26.03
6	Alta	Tojo	C6	0.37	37.00	3.95	9.32
7	Alta	Tucumillas	C7	3.17	317.00	24.54	27.49
8	Alta	Tucumillas	C8	1.90	190.00	16.52	22.16
9	Alta	Tucumillas	C9	0.38	38.00	5.08	12.52
10	Alta	Yesera Norte	C10	0.88	88.00	8.22	13.55
11	Alta	Yesera Norte	C11	1.00	100.00	10.76	21.76
12	Alta	Yesera Norte	C12	1.10	110.00	11.10	20.50
13	Alta	Tomayapo Pueblo	C13	0.52	52.00	7.26	19.37
14	Alta	Tomayapo Pueblo	C14	0.36	36.00	5.14	14.06
15	Alta	Tomayapo Pueblo	C15	0.44	44.00	6.23	16.89
16	Alta	Copacabana	C16	1.46	146.00	6.66	7.95
17	Alta	Copacabana	C17	1.33	133.00	6.56	9.11
18	Alta	Copacabana	C18	1.62	162.00	7.34	8.65
19	Alta	El Molino	C19	0.40	40.00	2.03	3.30
20	Alta	El Molino	C20	0.34	34.00	1.65	2.42
21	Alta	El Molino	C21	0.42	42.00	2.22	3.88
22	Alta	Sama Cumbre	C22	0.26	26.00	3.86	6.59
23	Alta	Sama Cumbre	C23	0.31	31.00	4.48	7.25
24	Alta	Sama Cumbre	C24	0.70	70.00	6.92	4.95
25	Alta	Sama Iscayachi	C25	0.62	62.00	3.20	2.73
26	Alta	Sama Iscayachi	C26	0.30	30.00	1.89	2.54
27	Alta	Sama Iscayachi	C27	0.28	28.00	1.77	2.40
28	Alta	San Antonio	C28	0.69	69.00	2.95	3.26
29	Alta	San Antonio	C29	0.37	37.00	1.70	2.18
30	Alta	San Antonio	C30	0.24	24.00	1.29	2.18

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 13: Resumen de caudales máximos estimados por métodos convencionales para el área de estudio (Zona Valles).

Nº	Zona	Estación	Cca	Área Cca		Q Racional m3/s	Q Mockus m3/s
				km2	Ha		
31	Valles	Aeropuerto - Tarija	C31	1.67	167.00	10.60	8.07
32	Valles	Aeropuerto - Tarija	C32	0.65	65.00	4.11	6.20
33	Valles	Aeropuerto - Tarija	C33	0.36	36.00	3.48	5.78
34	Valles	Coimata	C34	0.21	21.00	2.51	5.36
35	Valles	Coimata	C35	0.10	10.00	1.31	3.25
36	Valles	Coimata	C36	0.33	33.00	4.46	11.55
37	Valles	El Tejar	C37	0.12	12.00	1.44	3.23
38	Valles	El Tejar	C38	0.25	25.00	2.45	3.96
39	Valles	El Tejar	C39	0.35	35.00	2.51	2.71
40	Valles	Pinos Sud	C40	2.00	200.00	23.06	30.57
41	Valles	Pinos Sud	C41	1.38	138.00	18.25	30.24
42	Valles	Pinos Sud	C42	0.94	94.00	13.91	27.49
43	Valles	San Andrés	C43	2.10	210.00	22.90	29.18
44	Valles	San Andrés	C44	1.58	158.00	18.80	27.77
45	Valles	San Andrés	C45	1.90	190.00	21.87	30.58
46	Valles	San Jacinto Sud	C46	1.10	110.00	12.56	20.55
47	Valles	San Jacinto Sud	C47	0.43	43.00	6.64	17.44
48	Valles	San Jacinto Sud	C48	0.37	37.00	5.19	11.76
49	Valles	Turumayo	C49	1.25	125.00	15.12	30.82
50	Valles	Turumayo	C50	0.27	27.00	4.39	14.28
51	Valles	Turumayo	C51	0.55	55.00	7.17	16.55
52	Valles	Cenavit	C52	0.40	40.00	4.96	10.56
53	Valles	Cenavit	C53	1.50	150.00	13.77	17.46
54	Valles	Cenavit	C54	0.26	26.00	3.92	11.37
55	Valles	Juntas	C55	0.42	42.00	4.66	8.70
56	Valles	Juntas	C56	0.15	15.00	2.01	5.10
57	Valles	Juntas	C57	0.16	16.00	2.18	5.72
58	Valles	Sella Quebradas	C58	3.65	365.00	27.76	23.43
59	Valles	Sella Quebradas	C59	0.53	53.00	7.22	17.18
60	Valles	Sella Quebradas	C60	0.46	46.00	6.65	17.35

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 14: Resumen de caudales máximos estimados por métodos convencionales para el área de estudio (Zona Chaco).

N°	Zona	Estación	Cca	Área Cca		Q Racional m3/s	Q Mockus m3/s
				km2	Ha		
61	Chaco	Algarrobillas	C61	1.45	145.00	10.59	6.73
62	Chaco	Algarrobillas	C62	2.00	200.00	13.95	7.97
63	Chaco	Algarrobillas	C63	1.99	199.00	14.90	10.00
64	Chaco	Berety	C64	0.53	53.00	7.94	11.97
65	Chaco	Berety	C65	0.28	28.00	4.49	7.67
66	Chaco	Berety	C66	0.94	94.00	14.24	21.92
67	Chaco	Itau	C67	1.15	115.00	17.63	9.65
68	Chaco	Itau	C68	0.81	81.00	11.41	4.91
69	Chaco	Itau	C69	0.36	36.00	8.00	10.79
70	Chaco	Palmar Grande	C70	0.29	29.00	3.19	3.46
71	Chaco	Palmar Grande	C71	0.47	47.00	4.62	3.91
72	Chaco	Palmar Grande	C72	0.18	18.00	2.60	4.97
73	Chaco	Sachapera	C73	0.56	56.00	11.52	14.41
74	Chaco	Sachapera	C74	0.40	40.00	6.11	8.91
75	Chaco	Sachapera	C75	0.54	54.00	8.64	13.88
76	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C76	2.25	225.00	10.39	3.32
77	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C77	3.65	365.00	19.96	3.84
78	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C78	3.10	310.00	17.46	3.69
79	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C79	3.39	339.00	22.75	12.81
80	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C80	3.13	313.00	23.45	16.94
81	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C81	2.32	232.00	19.41	17.75
82	Chaco	Aguaraycito	C82	1.96	196.00	14.44	7.14
83	Chaco	Aguaraycito	C83	0.22	22.00	3.30	3.72
84	Chaco	Aguaraycito	C84	0.36	36.00	4.93	4.60
85	Chaco	Palos Blancos	C85	0.42	42.00	5.55	7.44
86	Chaco	Palos Blancos	C86	0.30	30.00	4.18	6.23
87	Chaco	Palos Blancos	C87	0.21	21.00	3.01	4.76
88	Chaco	Timboy	C88	1.29	129.00	12.61	8.54
89	Chaco	Timboy	C89	0.52	52.00	8.23	10.10
90	Chaco	Timboy	C90	1.00	100.00	12.88	10.51

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber estimado los caudales máximos para cada cuenca, se procedió a calcular la sección aproximada de alcantarilla que debería tener cada una de ellas en su punto de control, es decir el área hidráulica que generaría dicho caudal; este trabajo fue realizado con la ayuda del software Flow Master, cuya detalle se encuentra en el Anexos N° II.4 y el resumen de calculo es presentado a continuación.

Cuadro 15: Áreas hidráulicas y Secciones de alcantarilla estimadas para los caudales obtenidos a través de los métodos convencionales para el área de estudio (Zona Alta).

Nº	Zona	Estación	Cca	Área de la Cuenca Ha	Caudales		Áreas Hidráulicas		Sección de Alcantarilla	
					Racional m3/s	Mockus m3/s	Racional m2	Mockus m2	Racional m	Mockus m
1	Alta	Campanario	C1	72.00	4.34	6.50	1.16	1.86	1(D=1.5)	2(D=1.5)
2	Alta	Campanario	C2	191.00	10.60	13.79	2.74	3.66	2(D=1.5)	3(D=1.5)
3	Alta	Campanario	C3	46.00	3.47	7.36	0.98	2.04	1(D=1.5)	2(D=1.5)
4	Alta	Tojo	C4	78.00	7.75	16.71	2.14	4.52	2(D=1.5)	4(D=1.5)
5	Alta	Tojo	C5	123.00	12.15	26.03	3.12	6.75	2(D=1.5)	5(D=1.5)
6	Alta	Tojo	C6	37.00	3.95	9.32	1.08	2.46	1(D=1.5)	2(D=1.5)
7	Alta	Tucumillas	C7	317.00	24.54	27.49	6.45	7.10	5(D=1.5)	5(D=1.5)
8	Alta	Tucumillas	C8	190.00	16.52	22.16	4.26	5.90	3(D=1.5)	5(D=1.5)
9	Alta	Tucumillas	C9	38.00	5.08	12.52	1.32	3.39	1(D=1.5)	3(D=1.5)
10	Alta	Yesera Norte	C10	88.00	8.22	13.55	2.24	3.60	2(D=1.5)	3(D=1.5)
11	Alta	Yesera Norte	C11	100.00	10.76	21.76	2.78	5.60	2(D=1.5)	4(D=1.5)
12	Alta	Yesera Norte	C12	110.00	11.10	20.50	2.86	5.32	2(D=1.5)	4(D=1.5)
13	Alta	Tomayapo Pueblo	C13	52.00	7.26	19.37	2.02	5.08	2(D=1.5)	4(D=1.5)
14	Alta	Tomayapo Pueblo	C14	36.00	5.14	14.06	1.34	3.72	1(D=1.5)	3(D=1.5)
15	Alta	Tomayapo Pueblo	C15	44.00	6.23	16.89	1.60	4.56	1(D=1.5)	4(D=1.5)
16	Alta	Copacabana	C16	146.00	6.66	7.95	1.90	2.18	2(D=1.5)	2(D=1.5)
17	Alta	Copacabana	C17	133.00	6.56	9.11	1.88	2.42	2(D=1.5)	2(D=1.5)
18	Alta	Copacabana	C18	162.00	7.34	8.65	2.04	2.32	2(D=1.5)	2(D=1.5)
19	Alta	El Molino	C19	40.00	2.03	3.30	0.66	0.94	1(D=1.5)	1(D=1.5)
20	Alta	El Molino	C20	34.00	1.65	2.42	0.57	0.75	1(D=1.5)	1(D=1.5)
21	Alta	El Molino	C21	42.00	2.22	3.88	0.70	1.07	1(D=1.5)	1(D=1.5)
22	Alta	Sama Cumbre	C22	26.00	3.86	6.59	1.06	1.88	1(D=1.5)	2(D=1.5)
23	Alta	Sama Cumbre	C23	31.00	4.48	7.25	1.19	2.02	1(D=1.5)	2(D=1.5)
24	Alta	Sama Cumbre	C24	70.00	6.92	4.95	1.96	1.30	2(D=1.5)	1(D=1.5)
25	Alta	Sama Iscayachi	C25	62.00	3.20	2.73	0.92	0.82	1(D=1.5)	1(D=1.5)
26	Alta	Sama Iscayachi	C26	30.00	1.89	2.54	0.62	0.78	1(D=1.5)	1(D=1.5)
27	Alta	Sama Iscayachi	C27	28.00	1.77	2.40	0.60	0.74	1(D=1.5)	1(D=1.5)
28	Alta	San Antonio	C28	69.00	2.95	3.26	0.87	0.93	1(D=1.5)	1(D=1.5)
29	Alta	San Antonio	C29	37.00	1.70	2.18	0.58	0.69	1(D=1.5)	1(D=1.5)
30	Alta	San Antonio	C30	24.00	1.29	2.18	0.47	0.69	1(D=1.5)	1(D=1.5)

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 16: Áreas hidráulicas y Secciones de alcantarilla estimadas
para los caudales obtenidos a través de los métodos convencionales
para el área de estudio (Zona Valles).**

N°	Zona	Estación	Cca	Área de la Cca Ha	Caudales		Áreas Hidráulicas		Sección de Alcantarilla	
					Racional m3/s	Mockus m3/s	Racional m2	Mockus m2	Racional m	Mockus m
31	Valles	Aeropuerto - Tarija	C31	167.00	10.60	8.07	2.74	2.20	2(D=1.5)	2(D=1.5)
32	Valles	Aeropuerto - Tarija	C32	65.00	4.11	6.20	1.12	1.80	1(D=1.5)	2(D=1.5)
33	Valles	Aeropuerto - Tarija	C33	36.00	3.48	5.78	0.98	1.48	1(D=1.5)	1(D=1.5)
34	Valles	Coimata	C34	21.00	2.51	5.36	0.77	1.39	1(D=1.5)	1(D=1.5)
35	Valles	Coimata	C35	10.00	1.31	3.25	0.48	0.93	1(D=1.5)	1(D=1.5)
36	Valles	Coimata	C36	33.00	4.46	11.55	1.19	2.96	1(D=1.5)	2(D=1.5)
37	Valles	El Tejar	C37	12.00	1.44	3.23	0.51	0.93	1(D=1.5)	1(D=1.5)
38	Valles	El Tejar	C38	25.00	2.45	3.96	0.75	1.08	1(D=1.5)	1(D=1.5)
39	Valles	El Tejar	C39	35.00	2.51	2.71	0.77	0.81	1(D=1.5)	1(D=1.5)
40	Valles	Pinos Sud	C40	200.00	23.06	30.57	6.10	7.98	5(D=1.5)	6(D=1.5)
41	Valles	Pinos Sud	C41	138.00	18.25	30.24	4.84	7.92	4(D=1.5)	6(D=1.5)
42	Valles	Pinos Sud	C42	94.00	13.91	27.49	3.69	7.10	3(D=1.5)	5(D=1.5)
43	Valles	San Andrés	C43	210.00	22.90	29.18	6.10	7.68	5(D=1.5)	6(D=1.5)
44	Valles	San Andrés	C44	158.00	18.80	27.77	4.96	7.38	4(D=1.5)	6(D=1.5)
45	Valles	San Andrés	C45	190.00	21.87	30.58	5.64	7.98	4(D=1.5)	6(D=1.5)
46	Valles	San Jacinto Sud	C46	110.00	12.56	20.55	3.39	5.36	3(D=1.5)	4(D=1.5)
47	Valles	San Jacinto Sud	C47	43.00	6.64	17.44	1.90	4.68	2(D=1.5)	4(D=1.5)
48	Valles	San Jacinto Sud	C48	37.00	5.19	11.76	1.35	3.02	1(D=1.5)	2(D=1.5)
49	Valles	Turumayo	C49	125.00	15.12	30.82	3.96	8.04	3(D=1.5)	6(D=1.5)
50	Valles	Turumayo	C50	27.00	4.39	14.28	1.18	3.75	1(D=1.5)	3(D=1.5)
51	Valles	Turumayo	C51	55.00	7.17	16.55	2.00	4.48	2(D=1.5)	4(D=1.5)
52	Valles	Cenavit	C52	40.00	4.96	10.56	1.30	2.74	1(D=1.5)	2(D=1.5)
53	Valles	Cenavit	C53	150.00	13.77	17.46	3.66	4.68	3(D=1.5)	4(D=1.5)
54	Valles	Cenavit	C54	26.00	3.92	11.37	1.08	2.92	1(D=1.5)	2(D=1.5)
55	Valles	Juntas	C55	42.00	4.66	8.70	1.23	2.34	1(D=1.5)	2(D=1.5)
56	Valles	Juntas	C56	15.00	2.01	5.10	0.65	1.33	1(D=1.5)	1(D=1.5)
57	Valles	Juntas	C57	16.00	2.18	5.72	0.69	1.47	1(D=1.5)	1(D=1.5)
58	Valles	Sella Quebradas	C58	365.00	27.76	23.43	7.38	6.20	6(D=1.5)	5(D=1.5)
59	Valles	Sella Quebradas	C59	53.00	7.22	17.18	2.02	4.64	2(D=1.5)	4(D=1.5)
60	Valles	Sella Quebradas	C60	46.00	6.65	17.35	1.90	4.64	2(D=1.5)	4(D=1.5)

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 17: Áreas hidráulicas y Secciones de alcantarilla estimadas para los caudales obtenidos a través de los métodos convencionales para el área de estudio (Zona Chaco).

N°	Zona	Estación	Cca	Área de la Cca Ha	Caudales		Áreas Hidráulicas		Sección de Alcantarilla	
					Racional m3/s	Mockus m3/s	Racional m2	Mockus m2	Racional m	Mockus m
61	Chaco	Algarrobillas	C61	145.00	10.59	6.73	2.74	1.92	2(D=1.5)	2(D=1.5)
62	Chaco	Algarrobillas	C62	200.00	13.95	7.97	3.69	2.18	3(D=1.5)	2(D=1.5)
63	Chaco	Algarrobillas	C63	199.00	14.90	10.00	3.90	2.62	3(D=1.5)	2(D=1.5)
64	Chaco	Berety	C64	53.00	7.94	11.97	2.18	3.06	2(D=1.5)	2(D=1.5)
65	Chaco	Berety	C65	28.00	4.49	7.67	1.20	2.12	1(D=1.5)	2(D=1.5)
66	Chaco	Berety	C66	94.00	14.24	21.92	3.75	5.64	3(D=1.5)	4(D=1.5)
67	Chaco	Itau	C67	115.00	17.63	9.65	4.72	2.54	4(D=1.5)	2(D=1.5)
68	Chaco	Itau	C68	81.00	11.41	4.91	2.92	1.29	2(D=1.5)	1(D=1.5)
69	Chaco	Itau	C69	36.00	8.00	10.79	2.18	2.78	2(D=1.5)	2(D=1.5)
70	Chaco	Palmar Grande	C70	29.00	3.19	3.46	0.92	0.98	1(D=1.5)	1(D=1.5)
71	Chaco	Palmar Grande	C71	47.00	4.62	3.91	1.22	1.07	1(D=1.5)	1(D=1.5)
72	Chaco	Palmar Grande	C72	18.00	2.60	4.97	0.79	1.30	1(D=1.5)	1(D=1.5)
73	Chaco	Sachapera	C73	56.00	11.52	14.41	2.96	3.78	2(D=1.5)	3(D=1.5)
74	Chaco	Sachapera	C74	40.00	6.11	8.91	1.56	2.38	1(D=1.5)	2(D=1.5)
75	Chaco	Sachapera	C75	54.00	8.64	13.88	2.32	3.69	2(D=1.5)	3(D=1.5)
76	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C76	225.00	10.39	3.32	2.70	0.95	2(D=1.5)	1(D=1.5)
77	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C77	365.00	19.96	3.84	5.20	1.06	4(D=1.5)	1(D=1.5)
78	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C78	310.00	17.46	3.69	4.68	1.03	4(D=1.5)	1(D=1.5)
79	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C79	339.00	22.75	12.81	6.05	3.45	5(D=1.5)	3(D=1.5)
80	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C80	313.00	23.45	16.94	6.20	4.56	5(D=1.5)	4(D=1.5)
81	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C81	232.00	19.41	17.75	5.08	4.76	4(D=1.5)	4(D=1.5)
82	Chaco	Aguaraycito	C82	196.00	14.44	7.14	3.81	2.00	3(D=1.5)	2(D=1.5)
83	Chaco	Aguaraycito	C83	22.00	3.30	3.72	0.94	1.03	1(D=1.5)	1(D=1.5)
84	Chaco	Aguaraycito	C84	36.00	4.93	4.60	1.29	1.22	1(D=1.5)	1(D=1.5)
85	Chaco	Palos Blancos	C85	42.00	5.55	7.44	1.43	2.06	1(D=1.5)	2(D=1.5)
86	Chaco	Palos Blancos	C86	30.00	4.18	6.23	1.13	1.80	1(D=1.5)	2(D=1.5)
87	Chaco	Palos Blancos	C87	21.00	3.01	4.76	0.88	1.25	1(D=1.5)	1(D=1.5)
88	Chaco	Timboy	C88	129.00	12.61	8.54	3.42	2.30	3(D=1.5)	2(D=1.5)
89	Chaco	Timboy	C89	52.00	8.23	10.10	2.24	2.64	2(D=1.5)	2(D=1.5)
90	Chaco	Timboy	C90	100.00	12.88	10.51	3.45	2.72	3(D=1.5)	2(D=1.5)

Fuente: Elaboración propia

3.5. APLICACIÓN DE TALBOT EN LAS TRES ZONAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.-

La aplicación del método de Talbot, para las 90 cuencas ubicadas en las tres zonas del área de estudio, permitió determinar las áreas hidráulicas para cada una de ellas. El criterio para elegir el coeficiente C de Talbot, está basado en la pendiente media de la cuenca calculada con la siguiente expresión:

$$Pmc = \left[\frac{2 * \Delta H}{P} \right] * 100$$

Donde:

Pmc = Pendiente media de la cuenca en (%)

ΔH = Desnivel máximo de la cuenca en (m)

P = Perímetro de la cuenca en (m)

Las áreas hidráulicas obtenidas mediante el método de Talbot, para las 90 cuencas se muestran en los siguientes cuadros:

Cuadro 18: Áreas hidráulicas estimadas por el método de Talbot para las 90 cuencas del área de estudio (Zona Alta).

Nº	Zona	Estación	Cca	Área Cca. (Ha)	Pmc (%)	Coefficiente C adoptado	Área Hid. (m2)
1	Alta	Campanario	C1	72.00	13.80	0.30	1.36
2	Alta	Campanario	C2	191.00	13.82	0.30	2.82
3	Alta	Campanario	C3	46.00	13.71	0.30	0.97
4	Alta	Tojo	C4	78.00	28.20	0.60	2.88
5	Alta	Tojo	C5	123.00	27.83	0.60	4.06
6	Alta	Tojo	C6	37.00	20.92	0.60	1.65
7	Alta	Tucumillas	C7	317.00	11.38	0.30	4.12
8	Alta	Tucumillas	C8	190.00	13.50	0.30	2.81
9	Alta	Tucumillas	C9	38.00	16.75	0.50	1.40
10	Alta	Yesera Norte	C10	88.00	14.13	0.50	2.63
11	Alta	Yesera Norte	C11	100.00	15.14	0.50	2.89
12	Alta	Yesera Norte	C12	110.00	15.72	0.50	3.11
13	Alta	Tomayapo Pueblo	C13	52.00	22.54	0.60	2.13
14	Alta	Tomayapo Pueblo	C14	36.00	21.29	0.60	1.61
15	Alta	Tomayapo Pueblo	C15	44.00	24.01	0.60	1.88
16	Alta	Copacabana	C16	146.00	13.35	0.30	2.31
17	Alta	Copacabana	C17	133.00	13.17	0.30	2.15
18	Alta	Copacabana	C18	162.00	13.69	0.30	2.49
19	Alta	El Molino	C19	40.00	7.14	0.30	0.87
20	Alta	El Molino	C20	34.00	13.92	0.30	0.77
21	Alta	El Molino	C21	42.00	12.61	0.30	0.91
22	Alta	Sama Cumbre	C22	26.00	23.93	0.60	1.26
23	Alta	Sama Cumbre	C23	31.00	27.15	0.60	1.44
24	Alta	Sama Cumbre	C24	70.00	14.20	0.50	2.21
25	Alta	Sama Iscayachi	C25	62.00	13.86	0.30	1.21
26	Alta	Sama Iscayachi	C26	30.00	13.87	0.30	0.70
27	Alta	Sama Iscayachi	C27	28.00	13.84	0.30	0.67
28	Alta	San Antonio	C28	69.00	13.90	0.30	1.31
29	Alta	San Antonio	C29	37.00	13.89	0.30	0.82
30	Alta	San Antonio	C30	24.00	19.73	0.50	0.99

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 19: Áreas hidráulicas estimadas por el método de Talbot para las 90 cuencas del área de estudio (Zona Valles).

Nº	Zona	Estación	Cca	Área Cca. (Ha)	Pmc (%)	Coefficiente C adoptado	Área Hid. (m2)
31	Valles	Aeropuerto - Tarija	C31	167.00	3.42	0.20	1.70
32	Valles	Aeropuerto - Tarija	C32	65.00	1.87	0.20	0.84
33	Valles	Aeropuerto - Tarija	C33	36.00	2.65	0.20	0.54
34	Valles	Coimata	C34	21.00	28.88	0.60	1.08
35	Valles	Coimata	C35	10.00	24.82	0.60	0.62
36	Valles	Coimata	C36	33.00	16.67	0.50	1.26
37	Valles	El Tejar	C37	12.00	2.72	0.20	0.24
38	Valles	El Tejar	C38	25.00	2.69	0.20	0.41
39	Valles	El Tejar	C39	35.00	1.43	0.20	0.53
40	Valles	Pinos Sud	C40	200.00	19.92	0.50	4.87
41	Valles	Pinos Sud	C41	138.00	29.25	0.60	4.42
42	Valles	Pinos Sud	C42	94.00	29.71	0.60	3.31
43	Valles	San Andrés	C43	210.00	19.87	0.50	5.05
44	Valles	San Andrés	C44	158.00	19.63	0.50	4.08
45	Valles	San Andrés	C45	190.00	18.75	0.50	4.68
46	Valles	San Jacinto Sud	C46	110.00	14.08	0.50	3.11
47	Valles	San Jacinto Sud	C47	43.00	20.14	0.60	1.84
48	Valles	San Jacinto Sud	C48	37.00	19.31	0.50	1.37
49	Valles	Turumayo	C49	125.00	19.75	0.50	3.42
50	Valles	Turumayo	C50	27.00	29.03	0.60	1.30
51	Valles	Turumayo	C51	55.00	29.11	0.60	2.22
52	Valles	Cenavit	C52	40.00	18.00	0.50	1.46
53	Valles	Cenavit	C53	150.00	16.53	0.50	3.92
54	Valles	Cenavit	C54	26.00	14.60	0.50	1.05
55	Valles	Juntas	C55	42.00	17.91	0.50	1.51
56	Valles	Juntas	C56	15.00	15.20	0.50	0.70
57	Valles	Juntas	C57	16.00	19.37	0.50	0.73
58	Valles	Sella Quebradas	C58	365.00	14.02	0.50	7.64
59	Valles	Sella Quebradas	C59	53.00	20.32	0.60	2.16
60	Valles	Sella Quebradas	C60	46.00	20.93	0.60	1.94

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 20: Áreas hidráulicas estimadas por el método de Talbot para las 90 cuencas del área de estudio (Zona Chaco).

Nº	Zona	Estación	Cca	Área Cca. (Ha)	Pmc (%)	Coefficiente C adoptado	Área Hid. (m2)
61	Chaco	Algarrobillas	C61	145.00	1.06	0.20	1.53
62	Chaco	Algarrobillas	C62	200.00	1.02	0.20	1.95
63	Chaco	Algarrobillas	C63	199.00	0.66	0.20	1.94
64	Chaco	Berety	C64	53.00	14.10	0.50	1.80
65	Chaco	Berety	C65	28.00	18.04	0.50	1.11
66	Chaco	Berety	C66	94.00	14.06	0.50	2.76
67	Chaco	Itau	C67	115.00	14.09	0.50	3.21
68	Chaco	Itau	C68	81.00	14.11	0.50	2.47
69	Chaco	Itau	C69	36.00	14.15	0.50	1.34
70	Chaco	Palmar Grande	C70	29.00	1.21	0.20	0.46
71	Chaco	Palmar Grande	C71	47.00	1.30	0.20	0.66
72	Chaco	Palmar Grande	C72	18.00	1.20	0.20	0.32
73	Chaco	Sachapera	C73	56.00	4.11	0.20	0.75
74	Chaco	Sachapera	C74	40.00	5.03	0.20	0.58
75	Chaco	Sachapera	C75	54.00	3.95	0.20	0.73
76	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C76	225.00	0.25	0.20	2.13
77	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C77	365.00	2.00	0.20	3.06
78	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C78	310.00	2.46	0.20	2.70
79	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C79	339.00	1.86	0.20	2.89
80	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C80	313.00	1.88	0.20	2.72
81	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C81	232.00	2.03	0.20	2.18
82	Chaco	Aguaraycito	C82	196.00	2.03	0.30	2.88
83	Chaco	Aguaraycito	C83	22.00	7.05	0.30	0.56
84	Chaco	Aguaraycito	C84	36.00	7.02	0.30	0.81
85	Chaco	Palos Blancos	C85	42.00	15.20	0.50	1.51
86	Chaco	Palos Blancos	C86	30.00	18.22	0.50	1.17
87	Chaco	Palos Blancos	C87	21.00	19.16	0.50	0.90
88	Chaco	Timboy	C88	129.00	4.38	0.20	1.40
89	Chaco	Timboy	C89	52.00	7.49	0.30	1.06
90	Chaco	Timboy	C90	100.00	9.10	0.30	1.74

Fuente: Elaboración propia

3.6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.-

Los resultados obtenidos por los métodos convencionales y por el método de Talbot, fueron comparados, con el objetivo de validar su aplicación. Dicha comparación se presenta en los siguientes cuadros:

Cuadro 21: Áreas hidráulicas estimadas por los tres métodos para las 90 cuencas del área de estudio (Zona Alta).

Nº	Zona	Estación	Cca	Área de la Cuenca (Ha)	Áreas Hidráulicas		
					Racional (m ²)	Mockus (m ²)	Talbot (m ²)
1	Alta	Campanario	C1	72.00	1.16	1.86	1.36
2	Alta	Campanario	C2	191.00	2.74	3.66	2.82
3	Alta	Campanario	C3	46.00	0.98	2.04	0.97
4	Alta	Tojo	C4	78.00	2.14	4.52	2.88
5	Alta	Tojo	C5	123.00	3.12	6.75	4.06
6	Alta	Tojo	C6	37.00	1.08	2.46	1.65
7	Alta	Tucumillas	C7	317.00	6.45	7.10	4.12
8	Alta	Tucumillas	C8	190.00	4.26	5.90	2.81
9	Alta	Tucumillas	C9	38.00	1.32	3.39	1.40
10	Alta	Yesera Norte	C10	88.00	2.24	3.60	2.63
11	Alta	Yesera Norte	C11	100.00	2.78	5.60	2.89
12	Alta	Yesera Norte	C12	110.00	2.86	5.32	3.11
13	Alta	Tomayapo Pueblo	C13	52.00	2.02	5.08	2.13
14	Alta	Tomayapo Pueblo	C14	36.00	1.34	3.72	1.61
15	Alta	Tomayapo Pueblo	C15	44.00	1.60	4.56	1.88
16	Alta	Copacabana	C16	146.00	1.90	2.18	2.31
17	Alta	Copacabana	C17	133.00	1.88	2.42	2.15
18	Alta	Copacabana	C18	162.00	2.04	2.32	2.49
19	Alta	El Molino	C19	40.00	0.66	0.94	0.87
20	Alta	El Molino	C20	34.00	0.57	0.75	0.77
21	Alta	El Molino	C21	42.00	0.70	1.07	0.91
22	Alta	Sama Cumbre	C22	26.00	1.06	1.88	1.26
23	Alta	Sama Cumbre	C23	31.00	1.19	2.02	1.44
24	Alta	Sama Cumbre	C24	70.00	1.96	1.30	2.21
25	Alta	Sama Iscayachi	C25	62.00	0.92	0.82	1.21
26	Alta	Sama Iscayachi	C26	30.00	0.62	0.78	0.70
27	Alta	Sama Iscayachi	C27	28.00	0.60	0.74	0.67
28	Alta	San Antonio	C28	69.00	0.87	0.93	1.31
29	Alta	San Antonio	C29	37.00	0.58	0.69	0.82
30	Alta	San Antonio	C30	24.00	0.47	0.69	0.99

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 22: Áreas hidráulicas estimadas por los tres métodos para las 90 cuencas del área de estudio (Zona Valles).

Nº	Zona	Estación	Cca	Área de la Cuenca (Ha)	Áreas Hidráulicas		
					Racional (m2)	Mockus (m2)	Talbot (m2)
31	Valles	Aeropuerto - Tarija	C31	167.00	2.74	2.20	1.70
32	Valles	Aeropuerto - Tarija	C32	65.00	1.12	1.80	0.84
33	Valles	Aeropuerto - Tarija	C33	36.00	0.98	1.48	0.54
34	Valles	Coimata	C34	21.00	0.77	1.39	1.08
35	Valles	Coimata	C35	10.00	0.48	0.93	0.62
36	Valles	Coimata	C36	33.00	1.19	2.96	1.26
37	Valles	El Tejar	C37	12.00	0.51	0.93	0.24
38	Valles	El Tejar	C38	25.00	0.75	1.08	0.41
39	Valles	El Tejar	C39	35.00	0.77	0.81	0.53
40	Valles	Pinos Sud	C40	200.00	6.10	7.98	4.87
41	Valles	Pinos Sud	C41	138.00	4.84	7.92	4.42
42	Valles	Pinos Sud	C42	94.00	3.69	7.10	3.31
43	Valles	San Andrés	C43	210.00	6.10	7.68	5.05
44	Valles	San Andrés	C44	158.00	4.96	7.38	4.08
45	Valles	San Andrés	C45	190.00	5.64	7.98	4.68
46	Valles	San Jacinto Sud	C46	110.00	3.39	5.36	3.11
47	Valles	San Jacinto Sud	C47	43.00	1.90	4.68	1.84
48	Valles	San Jacinto Sud	C48	37.00	1.35	3.02	1.37
49	Valles	Turumayo	C49	125.00	3.96	8.04	3.42
50	Valles	Turumayo	C50	27.00	1.18	3.75	1.30
51	Valles	Turumayo	C51	55.00	2.00	4.48	2.22
52	Valles	Cenavit	C52	40.00	1.30	2.74	1.46
53	Valles	Cenavit	C53	150.00	3.66	4.68	3.92
54	Valles	Cenavit	C54	26.00	1.08	2.92	1.05
55	Valles	Juntas	C55	42.00	1.23	2.34	1.51
56	Valles	Juntas	C56	15.00	0.65	1.33	0.70
57	Valles	Juntas	C57	16.00	0.69	1.47	0.73
58	Valles	Sella Quebradas	C58	365.00	7.38	6.20	7.64
59	Valles	Sella Quebradas	C59	53.00	2.02	4.64	2.16
60	Valles	Sella Quebradas	C60	46.00	1.90	4.64	1.94

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 23: Áreas hidráulicas estimadas por los tres métodos para las 90 cuencas del área de estudio (Zona Chaco).

Nº	Zona	Estación	Cca	Área de la Cuenca (Ha)	Áreas Hidráulicas		
					Racional (m2)	Mockus (m2)	Talbot (m2)
61	Chaco	Algarrobillas	C61	145.00	2.74	1.92	1.53
62	Chaco	Algarrobillas	C62	200.00	3.69	2.18	1.95
63	Chaco	Algarrobillas	C63	199.00	3.90	2.62	1.94
64	Chaco	Berety	C64	53.00	2.18	3.06	1.80
65	Chaco	Berety	C65	28.00	1.20	2.12	1.11
66	Chaco	Berety	C66	94.00	3.75	5.64	2.76
67	Chaco	Itau	C67	115.00	4.72	2.54	3.21
68	Chaco	Itau	C68	81.00	2.92	1.29	2.47
69	Chaco	Itau	C69	36.00	2.18	2.78	1.34
70	Chaco	Palmar Grande	C70	29.00	0.92	0.98	0.46
71	Chaco	Palmar Grande	C71	47.00	1.22	1.07	0.66
72	Chaco	Palmar Grande	C72	18.00	0.79	1.30	0.32
73	Chaco	Sachapera	C73	56.00	2.96	3.78	0.75
74	Chaco	Sachapera	C74	40.00	1.56	2.38	0.58
75	Chaco	Sachapera	C75	54.00	2.32	3.69	0.73
76	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C76	225.00	2.70	0.95	2.13
77	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C77	365.00	5.20	1.06	3.06
78	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C78	310.00	4.68	1.03	2.70
79	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C79	339.00	6.05	3.45	2.89
80	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C80	313.00	6.20	4.56	2.72
81	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C81	232.00	5.08	4.76	2.18
82	Chaco	Aguaraycito	C82	196.00	3.81	2.00	2.88
83	Chaco	Aguaraycito	C83	22.00	0.94	1.03	0.56
84	Chaco	Aguaraycito	C84	36.00	1.29	1.22	0.81
85	Chaco	Palos Blancos	C85	42.00	1.43	2.06	1.51
86	Chaco	Palos Blancos	C86	30.00	1.13	1.80	1.17
87	Chaco	Palos Blancos	C87	21.00	0.88	1.25	0.90
88	Chaco	Timboy	C88	129.00	3.42	2.30	1.40
89	Chaco	Timboy	C89	52.00	2.24	2.64	1.06
90	Chaco	Timboy	C90	100.00	3.45	2.72	1.74

Fuente: Elaboración propia

3.7. CORRECCIÓN DEL COEFICIENTE “C” DE TALBOT.-

Luego de realizar el análisis y comparación de resultados, podemos advertir que de los 2 métodos convencionales utilizados para la comparación, el método racional es el que obtiene resultados más cercanos y parecidos a los obtenidos mediante Talbot, esto se debe principalmente a que ambos métodos son recomendados para cuencas pequeñas. En este sentido la determinación del factor de corrección para el coeficiente “C” de Talbot se la realizará en función a los resultados obtenidos a través del método Racional.

Para realizar la corrección del coeficiente C, se agrupó los valores tomando en cuenta dos parámetros; el primero según la zona en la que se encuentran y el segundo en función a las características topográficas de la cuenca.

La corrección del coeficiente C de Talbot, se la realizó a través de un análisis de los promedios de la diferencia en porcentaje entre las áreas tomadas como patrón (método Racional) y las áreas a corregir (método de Talbot); según el procedimiento siguiente:

Partiendo de la siguiente relación:

$$\begin{array}{r} A_{HT} \text{ -----} 100\% \\ A_{HD} \text{ -----} X..% \end{array}$$

Relación entre A_{HD} y A_{HT} :

$$X..% = \left(\frac{A_{HD}}{A_{HT}} \right) * 100$$

Diferencia en porcentaje entre áreas hidráulicas para cada alcantarilla:

$$Dif..% = X..% - 100$$

El promedio de la diferencia en porcentaje entre áreas hidráulicas es:

$$Pr om..% = \frac{\sum Dif..%_i}{n}$$

El factor de corrección del coeficiente C es:

$$F_C = \left(\frac{\text{Prom}\%}{100} \right) * C_{\text{Adoptado}}$$

Finalmente el Coeficiente “C corregido” está determinado por:

$$C_C = C_{\text{Adoptado}} + F_C$$

Donde:

X % = Valor porcentual del A_{HD} respecto del A_{HT} en (%)

A_{HD} = Área Hidráulica de Diseño en (m^2)

A_{HT} = Área Hidráulica de Talbot en (m^2)

Dif. % = Diferencia en porcentaje entre Áreas Hidráulicas para cada alcantarilla en (%)

Prom. % = Promedio de la diferencia en porcentaje entre Áreas Hidráulicas en (%)

n = Cantidad de datos

F_C = Factor de Corrección para el Coeficiente C (adm)

C_{Adoptado} = Coeficiente C de Talbot adoptado (adm)

C_C = Coeficiente C de Talbot corregido (adm)

El detalle de los cálculos es presentado a continuación en los siguientes cuadros:

Cuadro 24: Determinación del coeficiente “C corregido” de Talbot para terreno “Ligeramente Ondulado” en la zona Alta (C_{adoptado}=0,3).

ZONA: **Alta**

C = **0.30** Terreno Ligeramente Ondulado

Pendiente media de la cuenca = **7 % < Pmc < 14 %**

N°	Zona	Estación	Cuenca	Área de la Cuenca	Q max T = 10 años	Dimensiones según Método Racional		Dimensiones según Talbot				Talbot Corregido	
						Sección Circular	Área Hidráulica	Coef. Adoptado	Área Necesaria	Relación entre A _{HD} y A _{HT}	Dif. en porcentaje	Coef. Correg.	Área Corregida
						D (m)	(m ²)	adm	(m ²)	%	%	(adm)	(m ²)
1	Alta	Campanario	C1	72.00	4.34	1(D=1.5)	1.16	0.30	1.36	85.48	-14.52	0.27	1.22
2	Alta	Campanario	C2	191.00	10.60	2(D=1.5)	2.74	0.30	2.82	97.14	-2.86	0.27	2.54
3	Alta	Campanario	C3	46.00	3.47	1(D=1.5)	0.98	0.30	0.97	101.06	1.06	0.27	0.87
7	Alta	Tucumillas	C7	317.00	24.54	5(D=1.5)	6.45	0.30	4.12	156.38	56.38	0.27	3.71
8	Alta	Tucumillas	C8	190.00	16.52	3(D=1.5)	4.26	0.30	2.81	151.63	51.63	0.27	2.53
16	Alta	Copacabana	C16	146.00	6.66	2(D=1.5)	1.90	0.30	2.31	82.40	-17.60	0.27	2.08
17	Alta	Copacabana	C17	133.00	6.56	2(D=1.5)	1.88	0.30	2.15	87.44	-12.56	0.27	1.94
18	Alta	Copacabana	C18	162.00	7.34	2(D=1.5)	2.04	0.30	2.49	81.83	-18.17	0.27	2.24
19	Alta	El Molino	C19	40.00	2.03	1(D=1.5)	0.66	0.30	0.87	75.58	-24.42	0.27	0.79
20	Alta	El Molino	C20	34.00	1.65	1(D=1.5)	0.57	0.30	0.77	73.74	-26.26	0.27	0.70
21	Alta	El Molino	C21	42.00	2.22	1(D=1.5)	0.70	0.30	0.91	77.28	-22.72	0.27	0.82
25	Alta	Sama Iscayachi	C25	62.00	3.20	1(D=1.5)	0.92	0.30	1.21	75.84	-24.16	0.27	1.09
26	Alta	Sama Iscayachi	C26	30.00	1.89	1(D=1.5)	0.62	0.30	0.70	88.10	-11.90	0.27	0.63
27	Alta	Sama Iscayachi	C27	28.00	1.77	1(D=1.5)	0.60	0.30	0.67	89.79	-10.21	0.27	0.60
28	Alta	San Antonio	C28	69.00	2.95	1(D=1.5)	0.87	0.30	1.31	66.19	-33.81	0.27	1.18
29	Alta	San Antonio	C29	37.00	1.70	1(D=1.5)	0.58	0.30	0.82	70.42	-29.58	0.27	0.74

Promedio de la diferencia en porcentaje entre áreas hidráulicas : -8.73 %

Factor de Corrección de área = (Prom Dif %/100)*C_{adop} = **-0.03**

Cc = C + Fc = 0.3 + (-0.03)

Coeficiente corregido : Cc = 0.27 adm

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 25: Determinación del coeficiente “C corregido” de Talbot para terreno “Ondulado”
en la zona Alta (C_{adoptado}=0,5).**

ZONA: **Alta**

C = **0.50** Terreno Ondulado

Pendiente media de la cuenca = **14 % < Pmc < 20 %**

N°	Zona	Estación	Cuenca	Área de la Cuenca	Q max T = 10 años	Dimensiones según Método Racional		Dimensiones según Talbot				Talbot Corregido	
						Sección Circular	Área Hidráulica	Coef. Adoptado	Área Necesaria	Relación entre A _{HD} y A _{HT}	Dif. en porcentaje	Coef. Correg.	Área Corregida
						D (m)	(m ²)	adm	(m ²)	%	%	(adm)	(m ²)
9	Alta	Tucumillas	C9	38.00	5.08	1(D=1.5)	1.32	0.50	1.40	94.26	-5.74	0.42	1.18
10	Alta	Yesera Norte	C10	88.00	8.22	2(D=1.5)	2.24	0.50	2.63	85.20	-14.80	0.42	2.21
11	Alta	Yesera Norte	C11	100.00	10.76	2(D=1.5)	2.78	0.50	2.89	96.08	-3.92	0.42	2.43
12	Alta	Yesera Norte	C12	110.00	11.10	2(D=1.5)	2.86	0.50	3.11	92.02	-7.98	0.42	2.61
24	Alta	Sama Cumbre	C24	70.00	6.92	2(D=1.5)	1.96	0.50	2.21	88.51	-11.49	0.42	1.86
30	Alta	San Antonio	C30	24.00	1.29	1(D=1.5)	0.47	0.50	0.99	47.37	-52.63	0.42	0.83

Promedio de la diferencia en porcentaje entre áreas hidráulicas : -16.09 %

Factor de Corrección de área = (Prom Dif %/100)*C_{adop} = **-0.08**

Cc = C + Fc = 0.5 + (-0.08)

Coeficiente corregido : Cc = 0.42 adm

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 28: Determinación del coeficiente “C corregido” de Talbot para terreno “Ondulado” en la zona de los Valles ($C_{adoptado}=0,5$).

ZONA: Valles

C = 0.50 Terreno Ondulado

Pendiente media de la cuenca = 14 % < Pmc < 20 %

N°	Zona	Estación	Cuenca	Área de la Cuenca	Q max T = 10 años	Dimensiones según Método Racional		Dimensiones según Talbot				Talbot Corregido	
						Sección Circular	Área Hidráulica	Coef. Adoptado	Área Necesaria	Relación entre A_{HD} y A_{HT}	Dif. en porcentaje	Coef. Correg.	Área Corregida
						D (m)	(m ²)	adm	(m ²)	%	%	(adm)	(m ²)
36	Valles	Coimata	C36	33.00	4.46	1(D=1.5)	1.19	0.50	1.26	94.46	-5.54	0.52	1.31
40	Valles	Pinos Sud	C40	200.00	23.06	5(D=1.5)	6.10	0.50	4.87	125.35	25.35	0.52	5.06
43	Valles	San Andrés	C43	210.00	22.90	5(D=1.5)	6.10	0.50	5.05	120.85	20.85	0.52	5.25
44	Valles	San Andrés	C44	158.00	18.80	4(D=1.5)	4.96	0.50	4.08	121.64	21.64	0.52	4.24
45	Valles	San Andrés	C45	190.00	21.87	4(D=1.5)	5.64	0.50	4.68	120.45	20.45	0.52	4.87
46	Valles	San Jacinto Sud	C46	110.00	12.56	3(D=1.5)	3.39	0.50	3.11	109.08	9.08	0.52	3.23
48	Valles	San Jacinto Sud	C48	37.00	5.19	1(D=1.5)	1.35	0.50	1.37	98.35	-1.65	0.52	1.43
49	Valles	Turumayo	C49	125.00	15.12	3(D=1.5)	3.96	0.50	3.42	115.77	15.77	0.52	3.56
52	Valles	Cenavit	C52	40.00	4.96	1(D=1.5)	1.30	0.50	1.46	89.33	-10.67	0.52	1.51
53	Valles	Cenavit	C53	150.00	13.77	3(D=1.5)	3.66	0.50	3.92	93.32	-6.68	0.52	4.08
54	Valles	Cenavit	C54	26.00	3.92	1(D=1.5)	1.08	0.50	1.05	102.51	2.51	0.52	1.10
55	Valles	Juntas	C55	42.00	4.66	1(D=1.5)	1.23	0.50	1.51	81.48	-18.52	0.52	1.57
56	Valles	Juntas	C56	15.00	2.01	1(D=1.5)	0.65	0.50	0.70	93.20	-6.80	0.52	0.73
57	Valles	Juntas	C57	16.00	2.18	1(D=1.5)	0.69	0.50	0.73	94.26	-5.74	0.52	0.76
58	Valles	Sella Quebradas	C58	365.00	27.76	6(D=1.5)	7.38	0.50	7.64	96.59	-3.41	0.52	7.95

Promedio de la diferencia en porcentaje entre áreas hidráulicas : 3.78 %

Factor de Corrección de área = (Prom Dif %/100)*C_{adop} = 0.02

Cc = C + Fc = 0.5 + (0.02)

Coeficiente corregido : Cc = 0.52 adm

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 30: Determinación del coeficiente “C corregido” de Talbot para terreno “Plano”

en la zona del Chaco ($C_{adoptado}=0,2$).

ZONA: **Chaco**

C = **0.20** Terreno plano

Pendiente media de la cuenca = **0 % < Pmc < 7 %**

N°	Zona	Estación	Cuenca	Área de la Cuenca	Q max T = 10 años	Dimensiones según Método Racional		Dimensiones según Talbot				Talbot Corregido	
						Sección Circular	Área Hidráulica	Coef. Adoptado	Área Necesaria	Relación entre A_{HD} y A_{HT}	Dif. en porcentaje	Coef. Correg.	Área Corregida
						D (m)	(m ²)	adm	(m ²)	%	%	(adm)	(m ²)
61	Chaco	Algarrobillas	C61	145.00	10.59	2(D=1.5)	2.74	0.20	1.53	179.16	79.16	0.45	3.44
62	Chaco	Algarrobillas	C62	200.00	13.95	3(D=1.5)	3.69	0.20	1.95	189.57	89.57	0.45	4.38
63	Chaco	Algarrobillas	C63	199.00	14.90	3(D=1.5)	3.90	0.20	1.94	201.11	101.11	0.45	4.36
70	Chaco	Palmar Grande	C70	29.00	3.19	1(D=1.5)	0.92	0.20	0.46	201.14	101.14	0.45	1.03
71	Chaco	Palmar Grande	C71	47.00	4.62	1(D=1.5)	1.22	0.20	0.66	185.70	85.70	0.45	1.48
72	Chaco	Palmar Grande	C72	18.00	2.60	1(D=1.5)	0.79	0.20	0.32	247.00	147.00	0.45	0.72
73	Chaco	Sachapera	C73	56.00	11.52	2(D=1.5)	2.96	0.20	0.75	395.07	295.07	0.45	1.69
74	Chaco	Sachapera	C74	40.00	6.11	1(D=1.5)	1.56	0.20	0.58	267.98	167.98	0.45	1.31
75	Chaco	Sachapera	C75	54.00	8.64	2(D=1.5)	2.32	0.20	0.73	318.21	218.21	0.45	1.64
76	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C76	225.00	10.39	2(D=1.5)	2.70	0.20	2.13	126.98	26.98	0.45	4.78
77	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C77	365.00	19.96	4(D=1.5)	5.20	0.20	3.06	170.14	70.14	0.45	6.88
78	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C78	310.00	17.46	4(D=1.5)	4.68	0.20	2.70	173.08	73.08	0.45	6.08
79	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C79	339.00	22.75	5(D=1.5)	6.05	0.20	2.89	209.23	109.23	0.45	6.51
80	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C80	313.00	23.45	5(D=1.5)	6.20	0.20	2.72	227.64	127.64	0.45	6.13
81	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C81	232.00	19.41	4(D=1.5)	5.08	0.20	2.18	233.49	133.49	0.45	4.90
88	Chaco	Timboy	C88	129.00	12.61	3(D=1.5)	3.42	0.20	1.40	244.12	144.12	0.45	3.15

Promedio de la diferencia en porcentaje entre áreas hidráulicas : 123.10 %

Factor de Corrección de área = (Prom Dif %/100)* C_{adop} = **0.25**

$C_c = C + F_c = 0.2 + (0.25)$

Coeficiente corregido : $C_c = 0.45$ adm

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta el detalle de los coeficientes adoptados y corregidos, luego de haber realizado el análisis en las tres zonas y para las diferentes condiciones topográficas de las cuencas:

Cuadro 33: Resumen de Coeficientes “C adoptado” y “C corregido” de Talbot para el área de estudio.

Nº	Zona	Rango Pmc	Coefficiente Adoptado	Coefficiente Corregido
1	Alta	7% < Pmc < 14%	0.30	0.27
2	Alta	14% < Pmc < 20%	0.50	0.42
3	Alta	20% < Pmc < 30%	0.60	0.48
4	Valles	0% < Pmc < 7%	0.20	0.34
5	Valles	14% < Pmc < 20%	0.50	0.52
6	Valles	20% < Pmc < 30%	0.60	0.56
7	Chaco	0% < Pmc < 7%	0.20	0.45
8	Chaco	7% < Pmc < 14%	0.30	0.52
9	Chaco	14% < Pmc < 20%	0.50	0.60

Fuente: Elaboración propia.

Con el propósito de realizar una comparación no sólo de áreas hidráulicas entre los dos métodos, sino también de caudales y de secciones de alcantarillas, es que a partir de las áreas hidráulicas obtenidas mediante el método de Talbot con coeficientes “C adoptado” y “C corregido” se estimará un caudal para cada una de ellas. Este procedimiento se detalla en el Anexo N° III.2.

Cuadro 34: Resumen de Caudales y secciones de alcantarilla para las áreas hidráulicas obtenidas por el método de Talbot (zona Alta).

Nº	Zona	Estación	Cuenca	Coeficiente C adoptado				Coeficiente C corregido			
				C _{adoptado} (adm)	Área Hid. (m ²)	Q (m ³ /s)	Sección de Alcantarilla	C _{corregido} (adm)	Área Hid. (m ²)	Q (m ³ /s)	Sección de Alcantarilla
1	Alta	Campanario	C1	0.30	1.36	5.23	1 (D=1.5)	0.27	1.22	4.59	1 (D=1.5)
2	Alta	Campanario	C2	0.30	2.82	10.92	2 (D=1.5)	0.27	2.54	9.64	2 (D=1.5)
3	Alta	Campanario	C3	0.30	0.97	3.40	1 (D=1.5)	0.27	0.87	2.95	1 (D=1.5)
4	Alta	Tojo	C4	0.60	2.88	10.10	3 (D=1.5)	0.48	2.31	8.57	2 (D=1.5)
5	Alta	Tojo	C5	0.60	4.06	15.61	3 (D=1.5)	0.48	3.24	11.77	3 (D=1.5)
6	Alta	Tojo	C6	0.60	1.65	5.50	2 (D=1.5)	0.48	1.32	5.05	1 (D=1.5)
7	Alta	Tucumillas	C7	0.30	4.12	15.88	3 (D=1.5)	0.27	3.71	13.97	3 (D=1.5)
8	Alta	Tucumillas	C8	0.30	2.81	10.89	2 (D=1.5)	0.27	2.53	9.61	2 (D=1.5)
9	Alta	Tucumillas	C9	0.50	1.40	5.41	1 (D=1.5)	0.42	1.18	4.40	1 (D=1.5)
10	Alta	Yesera Norte	C10	0.50	2.63	10.06	2 (D=1.5)	0.42	2.21	8.07	2 (D=1.5)
11	Alta	Yesera Norte	C11	0.50	2.89	10.14	3 (D=1.5)	0.42	2.43	9.11	2 (D=1.5)
12	Alta	Yesera Norte	C12	0.50	3.11	11.15	3 (D=1.5)	0.42	2.61	9.98	2 (D=1.5)
13	Alta	Tomayapo Pueblo	C13	0.60	2.13	7.73	2 (D=1.5)	0.48	1.70	5.72	2 (D=1.5)
14	Alta	Tomayapo Pueblo	C14	0.60	1.61	5.32	2 (D=1.5)	0.48	1.29	4.92	1 (D=1.5)
15	Alta	Tomayapo Pueblo	C15	0.60	1.88	6.55	2 (D=1.5)	0.48	1.50	4.85	2 (D=1.5)
16	Alta	Copacabana	C16	0.30	2.31	8.57	2 (D=1.5)	0.27	2.08	7.46	2 (D=1.5)
17	Alta	Copacabana	C17	0.30	2.15	7.81	2 (D=1.5)	0.27	1.94	6.81	2 (D=1.5)
18	Alta	Copacabana	C18	0.30	2.49	9.42	2 (D=1.5)	0.27	2.24	8.23	2 (D=1.5)
19	Alta	El Molino	C19	0.30	0.87	2.95	1 (D=1.5)	0.27	0.79	2.58	1 (D=1.5)
20	Alta	El Molino	C20	0.30	0.77	2.49	1 (D=1.5)	0.27	0.70	2.19	1 (D=1.5)
21	Alta	El Molino	C21	0.30	0.91	3.14	1 (D=1.5)	0.27	0.82	2.73	1 (D=1.5)
22	Alta	Sama Cumbre	C22	0.60	1.26	4.78	1 (D=1.5)	0.48	1.01	3.60	1 (D=1.5)
23	Alta	Sama Cumbre	C23	0.60	1.44	4.56	2 (D=1.5)	0.48	1.15	4.25	1 (D=1.5)
24	Alta	Sama Cumbre	C24	0.50	2.21	8.07	2 (D=1.5)	0.42	1.86	6.48	2 (D=1.5)
25	Alta	Sama Iscayachi	C25	0.30	1.21	4.51	1 (D=1.5)	0.27	1.09	3.98	1 (D=1.5)
26	Alta	Sama Iscayachi	C26	0.30	0.70	2.19	1 (D=1.5)	0.27	0.63	1.90	1 (D=1.5)
27	Alta	Sama Iscayachi	C27	0.30	0.67	2.07	1 (D=1.5)	0.27	0.60	1.78	1 (D=1.5)
28	Alta	San Antonio	C28	0.30	1.31	5.01	1 (D=1.5)	0.27	1.18	4.40	1 (D=1.5)
29	Alta	San Antonio	C29	0.30	0.82	2.73	1 (D=1.5)	0.27	0.74	2.37	1 (D=1.5)
30	Alta	San Antonio	C30	0.50	0.99	3.50	1 (D=1.5)	0.42	0.83	2.77	1 (D=1.5)

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 35: Resumen de Caudales y secciones de alcantarilla para las áreas hidráulicas obtenidas por el método de Talbot (zona de los valles).

Nº	Zona	Estación	Cuenca	Coeficiente C adoptado				Coeficiente C corregido			
				C _{adoptado} (adm)	Área Hid. (m ²)	Q (m ³ /s)	Sección de Alcantarilla	C _{corregido} (adm)	Área Hid. (m ²)	Q (m ³ /s)	Sección de Alcantarilla
31	Valles	Aeropuerto - Tarija	C31	0.20	1.70	5.72	2 (D=1.5)	0.34	2.89	10.14	3 (D=1.5)
32	Valles	Aeropuerto - Tarija	C32	0.20	0.84	2.83	1 (D=1.5)	0.34	1.42	5.50	1 (D=1.5)
33	Valles	Aeropuerto - Tarija	C33	0.20	0.54	1.54	1 (D=1.5)	0.34	0.91	3.14	1 (D=1.5)
34	Valles	Coimata	C34	0.60	1.08	3.92	1 (D=1.5)	0.56	1.01	3.60	1 (D=1.5)
35	Valles	Coimata	C35	0.60	0.62	1.87	1 (D=1.5)	0.56	0.58	1.70	1 (D=1.5)
36	Valles	Coimata	C36	0.50	1.26	4.78	1 (D=1.5)	0.52	1.31	5.01	1 (D=1.5)
37	Valles	El Tejar	C37	0.20	0.24	0.49	1 (D=1.5)	0.34	0.40	1.00	1 (D=1.5)
38	Valles	El Tejar	C38	0.20	0.41	1.05	1 (D=1.5)	0.34	0.70	2.19	1 (D=1.5)
39	Valles	El Tejar	C39	0.20	0.53	1.51	1 (D=1.5)	0.34	0.90	3.08	1 (D=1.5)
40	Valles	Pinos Sud	C40	0.50	4.87	18.34	4 (D=1.5)	0.52	5.06	19.21	4 (D=1.5)
41	Valles	Pinos Sud	C41	0.60	4.42	16.15	4 (D=1.5)	0.56	4.13	15.92	3 (D=1.5)
42	Valles	Pinos Sud	C42	0.60	3.31	12.09	3 (D=1.5)	0.56	3.09	11.08	3 (D=1.5)
43	Valles	San Andrés	C43	0.50	5.05	19.17	4 (D=1.5)	0.52	5.25	20.08	4 (D=1.5)
44	Valles	San Andrés	C44	0.50	4.08	15.69	3 (D=1.5)	0.52	4.24	16.43	3 (D=1.5)
45	Valles	San Andrés	C45	0.50	4.68	17.37	4 (D=1.5)	0.52	4.87	18.34	4 (D=1.5)
46	Valles	San Jacinto Sud	C46	0.50	3.11	11.15	3 (D=1.5)	0.52	3.23	11.73	3 (D=1.5)
47	Valles	San Jacinto Sud	C47	0.60	1.84	6.36	2 (D=1.5)	0.56	1.72	5.79	2 (D=1.5)
48	Valles	San Jacinto Sud	C48	0.50	1.37	5.28	1 (D=1.5)	0.52	1.43	4.53	2 (D=1.5)
49	Valles	Turumayo	C49	0.50	3.42	12.63	3 (D=1.5)	0.52	3.56	13.28	3 (D=1.5)
50	Valles	Turumayo	C50	0.60	1.30	4.96	1 (D=1.5)	0.56	1.21	4.51	1 (D=1.5)
51	Valles	Turumayo	C51	0.60	2.22	8.16	2 (D=1.5)	0.56	2.07	7.42	2 (D=1.5)
52	Valles	Cenavit	C52	0.50	1.46	4.67	2 (D=1.5)	0.52	1.51	4.88	2 (D=1.5)
53	Valles	Cenavit	C53	0.50	3.92	15.00	3 (D=1.5)	0.52	4.08	15.69	3 (D=1.5)
54	Valles	Cenavit	C54	0.50	1.05	3.79	1 (D=1.5)	0.52	1.10	4.02	1 (D=1.5)
55	Valles	Juntas	C55	0.50	1.51	4.88	2 (D=1.5)	0.52	1.57	5.13	2 (D=1.5)
56	Valles	Juntas	C56	0.50	0.70	2.19	1 (D=1.5)	0.52	0.73	2.34	1 (D=1.5)
57	Valles	Juntas	C57	0.50	0.73	2.34	1 (D=1.5)	0.52	0.76	2.46	1 (D=1.5)
58	Valles	Sella Quebradas	C58	0.50	7.64	29.01	6 (D=1.5)	0.52	7.95	30.50	6 (D=1.5)
59	Valles	Sella Quebradas	C59	0.60	2.16	7.84	2 (D=1.5)	0.56	2.01	7.16	2 (D=1.5)
60	Valles	Sella Quebradas	C60	0.60	1.94	6.81	2 (D=1.5)	0.56	1.81	6.20	2 (D=1.5)

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 36: Resumen de Caudales y secciones de alcantarilla para las áreas hidráulicas obtenidas por el método de Talbot (zona del Chaco).

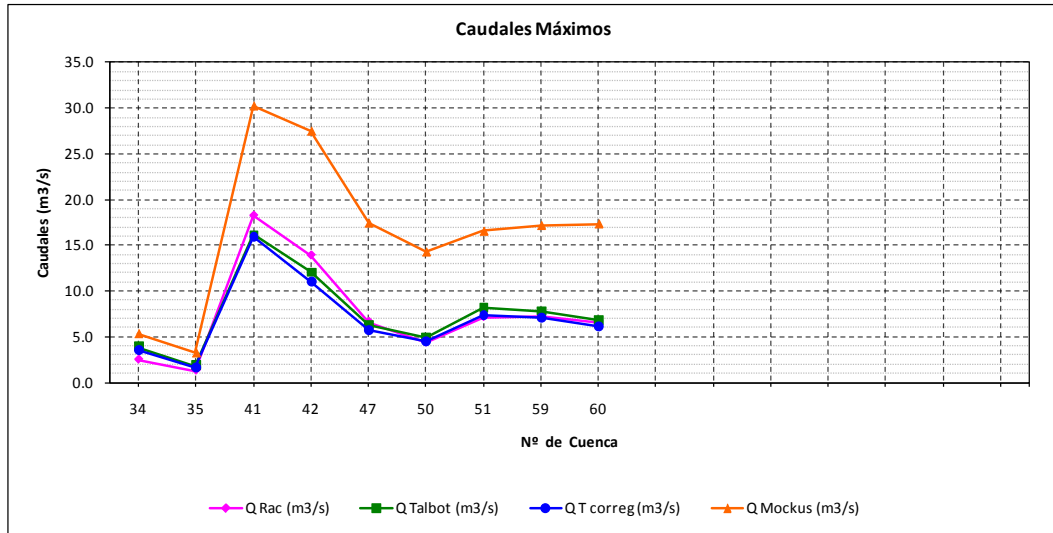
N°	Zona	Estación	Cuenca	Coeficiente C adoptado				Coeficiente C corregido			
				C _{adoptado} (adm)	Área Hid. (m ²)	Q (m ³ /s)	Sección de Alcantarilla	C _{corregido} (adm)	Área Hid. (m ²)	Q (m ³ /s)	Sección de Alcantarilla
61	Chaco	Algarrobillas	C61	0.20	1.53	4.95	2 (D=1.5)	0.45	3.44	12.70	3 (D=1.5)
62	Chaco	Algarrobillas	C62	0.20	1.95	6.89	2 (D=1.5)	0.45	4.38	16.00	4 (D=1.5)
63	Chaco	Algarrobillas	C63	0.20	1.94	6.81	2 (D=1.5)	0.45	4.36	15.93	4 (D=1.5)
64	Chaco	Berety	C64	0.50	1.80	6.17	2 (D=1.5)	0.60	2.16	7.84	2 (D=1.5)
65	Chaco	Berety	C65	0.50	1.11	4.08	1 (D=1.5)	0.60	1.34	5.14	1 (D=1.5)
66	Chaco	Berety	C66	0.50	2.76	10.64	2 (D=1.5)	0.60	3.31	12.09	3 (D=1.5)
67	Chaco	Itau	C67	0.50	3.21	11.66	3 (D=1.5)	0.60	3.86	14.72	3 (D=1.5)
68	Chaco	Itau	C68	0.50	2.47	9.30	2 (D=1.5)	0.60	2.96	10.46	3 (D=1.5)
69	Chaco	Itau	C69	0.50	1.34	5.14	1 (D=1.5)	0.60	1.61	5.32	2 (D=1.5)
70	Chaco	Palmar Grande	C70	0.20	0.46	1.22	1 (D=1.5)	0.45	1.03	3.69	1 (D=1.5)
71	Chaco	Palmar Grande	C71	0.20	0.66	2.01	1 (D=1.5)	0.45	1.48	4.74	2 (D=1.5)
72	Chaco	Palmar Grande	C72	0.20	0.32	0.73	1 (D=1.5)	0.45	0.72	2.28	1 (D=1.5)
73	Chaco	Sachapera	C73	0.20	0.75	2.43	1 (D=1.5)	0.45	1.69	5.69	2 (D=1.5)
74	Chaco	Sachapera	C74	0.20	0.58	1.70	1 (D=1.5)	0.45	1.31	5.01	1 (D=1.5)
75	Chaco	Sachapera	C75	0.20	0.73	2.34	1 (D=1.5)	0.45	1.64	5.47	2 (D=1.5)
76	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C76	0.20	2.13	7.73	2 (D=1.5)	0.45	4.78	17.82	4 (D=1.5)
77	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C77	0.20	3.06	10.97	3 (D=1.5)	0.45	6.88	26.52	5 (D=1.5)
78	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C78	0.20	2.70	10.38	2 (D=1.5)	0.45	6.08	22.78	5 (D=1.5)
79	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C79	0.20	2.89	10.14	3 (D=1.5)	0.45	6.51	24.90	5 (D=1.5)
80	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C80	0.20	2.72	10.46	2 (D=1.5)	0.45	6.13	23.08	5 (D=1.5)
81	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C81	0.20	2.18	7.96	2 (D=1.5)	0.45	4.90	18.45	4 (D=1.5)
82	Chaco	Aguaraycito	C82	0.30	2.88	10.10	3 (D=1.5)	0.52	4.98	18.83	4 (D=1.5)
83	Chaco	Aguaraycito	C83	0.30	0.56	1.62	1 (D=1.5)	0.52	0.97	3.40	1 (D=1.5)
84	Chaco	Aguaraycito	C84	0.30	0.81	2.67	1 (D=1.5)	0.52	1.40	5.41	1 (D=1.5)
85	Chaco	Palos Blancos	C85	0.50	1.51	4.88	2 (D=1.5)	0.60	1.81	6.20	2 (D=1.5)
86	Chaco	Palos Blancos	C86	0.50	1.17	4.34	1 (D=1.5)	0.60	1.41	5.46	1 (D=1.5)
87	Chaco	Palos Blancos	C87	0.50	0.90	3.08	1 (D=1.5)	0.60	1.08	3.92	1 (D=1.5)
88	Chaco	Timboy	C88	0.20	1.40	5.41	1 (D=1.5)	0.45	3.15	11.37	3 (D=1.5)
89	Chaco	Timboy	C89	0.30	1.06	3.83	1 (D=1.5)	0.52	1.84	6.36	2 (D=1.5)
90	Chaco	Timboy	C90	0.30	1.74	5.91	2 (D=1.5)	0.52	3.01	10.72	3 (D=1.5)

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, se realizó la representación gráfica de caudales, áreas hidráulicas y secciones de alcantarilla según la zona y características topográficas de las cuencas. Este detalle se presenta en el Anexo N° IV.

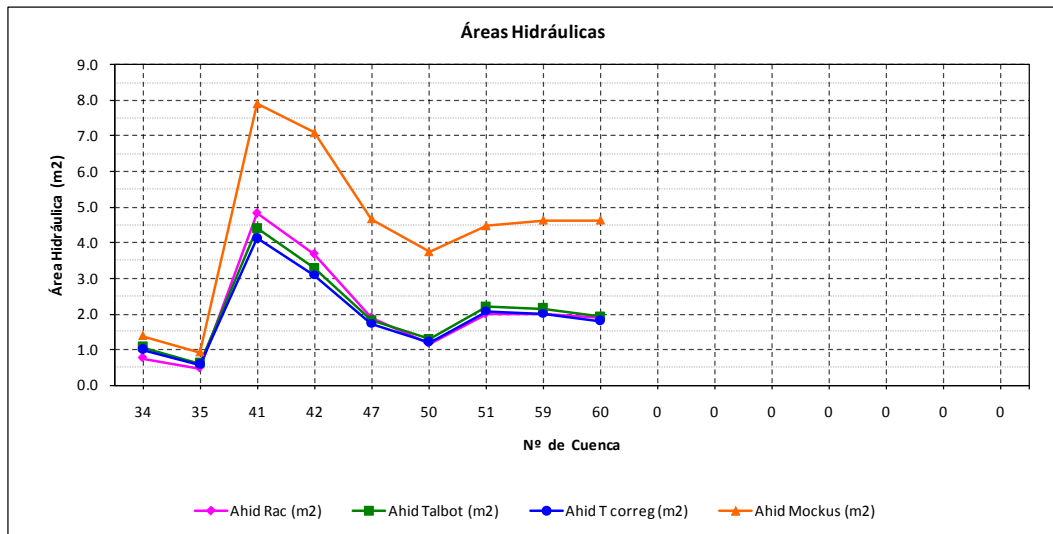
A continuación se muestra los gráficos para las cuencas de la zona de los Valles en las que la pendiente media se encuentra dentro de un rango de: $20\% < P_{mc} \leq 30\%$.

Gráfico 1: Comparación de caudales terreno con lomerío zona de los Valles.



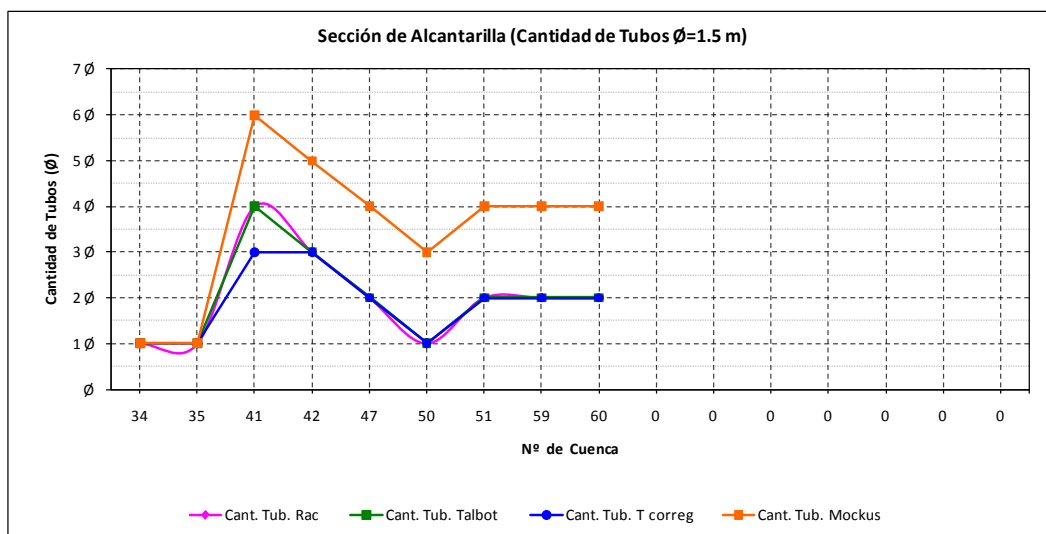
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2: Comparación de Áreas Hidráulicas terreno con lomerío zona de los Valles.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3: Comparación de Sección de Alcantarillas terreno con lomerío zona de los Valles (Número de Tubos)



Fuente: Elaboración propia

3.8. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE TALBOT PARA EL DISEÑO DE ALCANTARILLAS EN TRES TRAMOS CARRETEROS.-

Dentro de las tres zonas definidas en el área de estudio, se identificaron un tramo caminero por cada zona para aplicar el método de Talbot en el diseño de alcantarillas; estos tramos son:

- Tramo San Andrés – Bella Vista.
- Tramo Iscayachi – Chorcoya Avilés.
- Tramo Quebrada Las Vacas – Salinas.

La elección de los tramos de estudio, se lo hizo tomando en cuenta las características climáticas y topográficas de la zona de ubicación de los mismos, con el objetivo de aplicar el método de Talbot, con los coeficientes “C corregidos” obtenidos en los cuadros del acápite 3.7 del presente capítulo.

Esta aplicación nos permitirá comparar los resultados con los obtenidos por los métodos tradicionales para poder generalizar su aplicación en cada zona.

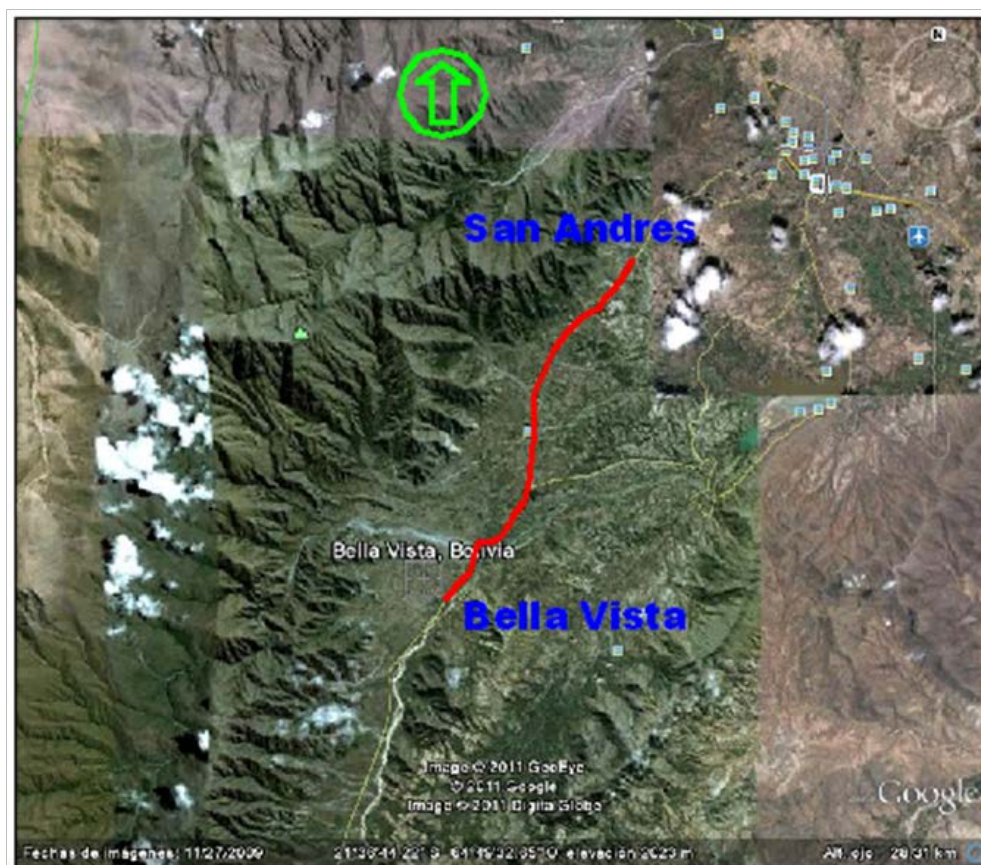
A continuación se describe de manera resumida las características de cada uno de los tramos:

3.8.1. TRAMO 1: SAN ANDRÉS - BELLA VISTA.-

Este tramo está ubicado en la Provincia Cercado del departamento de Tarija, dentro del municipio de la ciudad de Tarija y la Provincia Cercado, vincula las comunidades de San Andrés y Bella Vista, dentro de la **zona del valle central**, según la zonificación del área de estudio, como se muestra en el mapa de ubicación.

3.8.1.1. Ubicación del Tramo.-

Fotografía 7: Imagen Satelital Tramo 1: San Andrés – Bella Vista.



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes satelitales de Google Earth.

3.8.1.2. Caracterización Climática.-

Este tramo está ubicado al pie de la Cordillera de Sama, en una zona con clima templado con una temperatura media anual de 18,3 °C, una precipitación media anual de 1.121,90 mm, es una de las zonas con mayor precipitación dentro del Valle Central de Tarija, como puede evidenciarse en el siguiente cuadro:

Cuadro 37: Precipitación media mensual y anual de la zona del proyecto

San Andrés – Bella Vista.

Mes	Precipitación (mm)	
	Pinos Sud	San Andrés
ENERO	229.70	208.20
FEBRERO	232.20	196.20
MARZO	189.20	182.50
ABRIL	49.60	43.60
MAYO	10.20	8.80
JUNIO	3.40	1.60
JULIO	2.10	2.30
AGOSTO	7.40	7.50
SEPTIEMBRE	18.40	16.70
OCTUBRE	58.90	82.90
NOVIEMBRE	128.20	138.60
DICIEMBRE	192.70	208.30
MEDIA ANUAL	1121.90	1097.20

Fuente: SENAMHI - Tarija

3.8.1.3. Características Topográficas de la zona.-

Se trata de una zona de topografía ondulada conformada por laderas, con suelos cuya variación depende de la tipología de las mismas. Presenta pendientes generalmente fuertes, poco profundas, pedregosas o rocosas y con poco desarrollo. En la zona de pie de monte los suelos son de origen coluvial y aluvial con pendientes poco variables.

La vegetación es moderada, la cobertura vegetal dominante se compone de pajonales bajos, entre los principales recursos forestales existentes tenemos: Molle, Pinos, Algarrobo, Eucalipto, Churqui, Tusca, Sauce, Chañal y otros.

La erosión en las comunidades del área de influencia del proyecto y comunidades adyacentes se acrecentó en las llanuras fluviolacustres donde la degradación se produce por la profundización de los cursos de agua y el constante socavamiento lateral ocasionado por diversos fenómenos de sufusión y desplomes laterales. También se presenta erosión remontante, en pendientes entre 25 a 55 % donde el drenaje natural es moderado a imperfecto.

El uso actual dominante es el ganadero extensivo con ovinos, caprinos, cerdos entre otros.

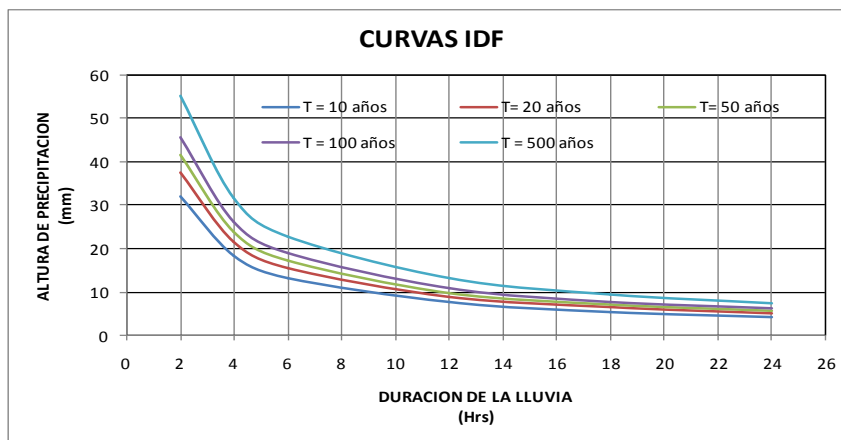
3.8.1.4. Descripción del Tramo.-

El tramo tiene una longitud de 4,92 kilómetros asfaltados y 7,20 metros de ancho, inicia en la comunidad de San Andrés y termina en la comunidad de Bella Vista, atraviesa el Río Sola con un puente de $L=124,00$ m, y 8 alcantarillas. Esta carretera actualmente se encuentra construída y en operación.

3.8.1.5. Alcantarillas.-

El diseño del drenaje transversal para este tramo, fue realizado con la aplicación del método racional para la estimación de caudales máximos.

La intensidad de precipitación se la determina con las ecuaciones de las CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN - FRECUENCIA, obtenidas con el análisis pluviométrico para precipitaciones máximas en 24 horas correspondientes a las Estaciones pluviométricas de San Andrés y San Jacinto Sud.

Gráfico 4: Curvas IDF del tramo San Andrés - Bella Vista.

Fuente: Diseño Final “Mejoramiento Camino San Andrés – Bella Vista”

En el plano se ubicaron las alcantarillas, con sus respectivas áreas de aporte, con el método racional se estimaron los caudales máximos para diferentes periodos de retorno y se dimensionaron las alcantarillas que se muestran a continuación:

Cuadro 38: Resumen de Alcantarillas Diseñadas por el método Racional para el tramo San Andrés – Bella Vista.

Nº	Progresiva	Río / Quebrada	Tipo	Sección de Alcantarilla		Q max (m ³ /s)	Área hidráulica (m ²)
				Circular D (m)	Rectangular (bxh) (m ²)		
1	0 + 590	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		2 (3.0 x 1.5)	21.39	3.86
2	1 + 130	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(3.0 x 1.5)	11.46	2.03
3	1 + 350	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(3.0 x 1.5)	11.21	1.99
4	1 + 430	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(3.0 x 1.5)	11.25	2.00
5	1 + 660	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(3.0 x 1.5)	11.29	2.00
6	1 + 965	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(3.0 x 1.5)	10.25	1.88
7	2 + 050	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(3.0 x 1.5)	9.31	1.76
8	3 + 530	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(3.0 x 1.5)	10.77	1.94

Fuente: Diseño Final “Mejoramiento Camino San Andrés – Bella Vista”

3.8.1.6. Diseño de Alcantarillas Aplicando el Método de Talbot.-

Realizado el análisis tanto de la información contenida en el diseño final, como la información cartográfica de la zona y posterior inspección visual del tramo; en función a sus características topográficas los valores de pendiente media de la cuenca

fluctúan entre 14 y 20%, correspondiente a un tipo de terreno “Ondulado” y un valor del coeficiente C igual a 0,50. Luego del análisis realizado en el acápite 3.7; el coeficiente “C corregido” a utilizar para este tipo de terreno y en esta zona es igual a 0,52. A continuación se presenta el cuadro resumen del cálculo de áreas hidráulicas para cada alcantarilla:

Cuadro 39: Resumen de Alcantarillas diseñadas con el Método de Talbot para el tramo San Andrés – Bella Vista.

Nº	Progresiva	Rio / Quebrada	Cuenca	Área Cca (Ha)	Coef. "C" (adm)	Área Hid. (m ²)
1	0 + 590	Quebrada Sin Nombre	Cca1	139.00	0.52	3.85
2	1 + 130	Quebrada Sin Nombre	Cca2	74.50	0.52	2.41
3	1 + 350	Quebrada Sin Nombre	Cca3	72.88	0.52	2.37
4	1 + 430	Quebrada Sin Nombre	Cca4	73.10	0.52	2.38
5	1 + 660	Quebrada Sin Nombre	Cca5	73.40	0.52	2.39
6	1 + 965	Quebrada Sin Nombre	Cca6	66.60	0.52	2.22
7	2 + 050	Quebrada Sin Nombre	Cca7	60.50	0.52	2.06
8	3 + 530	Quebrada Sin Nombre	Cca8	70.00	0.52	2.30

Fuente: Elaboración Propia.

El detalle del cálculo para cada una de las alcantarillas se lo presenta en el Anexo N° V.2.1.

3.8.2. TRAMO 2: ISCAYACHI – CHORCOYA AVILES.-

Fotografía 8: Tramo comprendido entre Iscayachi y Tojo.



Fuente: Elaboración Propia.

El segundo tramo elegido es “Iscayachi – Chorcoya Avilés” de 44 Km, pertenece al Camino “Iscayachi – Tojo – Carretas”, Ruta N° D611 de la red vial departamental, el mismo que se ubica en la **zona alta** de la zonificación del área de estudio.

3.8.2.1. Ubicación del Tramo:

El tramo Iscayachi – Chorcoya Avilés, está ubicado en las provincias Méndez y Avilés del departamento de Tarija, dentro de los Municipios de El Puente y Yunchará.

Ubicación geográfica.-

Iscayachi	-	Chorcoya Avilés
21°29' Latitud Sur		21°55' Latitud Sur
64°58' Longitud oeste		65°10' Longitud oeste

Fotografía 9: Imagen Satelital Tramo 2: Iscayachi – Chorcoya Avilés.



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes satelitales de Google Earth.

3.8.2.2. Caracterización Climática.-

Desde el punto de vista climático, la zona del proyecto pertenece a la zona andina del departamento de Tarija, está ubicado en la parte altiplánica de la Cordillera Oriental, en el área caracterizada como clima árido con temperaturas bajas, teniendo por esto un clima frío con temperatura media anual menor a 10°C.

La precipitación en la zona del proyecto es baja con un promedio anual de 360 mm, como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 40: Precipitación media mensual y anual de la zona del proyecto Iscayachi – Chorcoya Avilés.

Mes	Precipitación (mm)
	Campanario
ENERO	94.40
FEBRERO	78.70
MARZO	57.70
ABRIL	13.00
MAYO	0.90
JUNIO	0.40
JULIO	0.00
AGOSTO	1.60
SEPTIEMBRE	5.40
OCTUBRE	18.40
NOVIEMBRE	21.40
DICIEMBRE	68.40
MEDIA ANUAL	360.40

Fuente: SENAMHI - Tarija

3.8.2.3. Características Topográficas de la zona.-

La topografía de la zona del proyecto presenta características marcadas, desde Iscayachi hasta el Abra de Chorcoya es terreno plano a ondulado.

La Carretera Iscayachi – Chorcoya Avilés, está emplazada al pie de la serranía de Sama, *geológicamente* corresponden al cámbrico (cuarcitas). La *geomorfología* se encuentra dentro de la clasificación de: Montañas y Valles de la Cordillera Oriental.

Los *suelos* se clasifican como: Montañas Altas, Cimas Convexas fuertemente disectadas. Su *fisiografía* está comprendida dentro de: Montañas altas, valles y mesetas orientales. Por su ubicación geográfica y el tipo de *vegetación* dominante, la zona pertenece a: Estepa arbórea y arbustiva semiseca.

3.8.2.4. Descripción del Tramo.-

El tramo Iscayachi – Chorcoya, pertenece a la ruta departamental denominada como Ruta N° D-611, actualmente es un camino con capa de rodadura de ripio, con una longitud de 44 kilómetros y un ancho de plataforma que varía entre 4 a 5 metros.

Para mejorar sus condiciones de transitabilidad, el Servicio Departamental de Caminos de Tarija, ha elaborado un proyecto para la pavimentación de este tramo carretero.

El diseño elaborado por el SEDECA, a través de una consultoría externa comprende, el mejoramiento del trazo vertical y horizontal, el diseño de todas las obras de drenaje necesarias para mantener su transitabilidad ininterrumpida durante todo el año y la pavimentación con carpeta asfáltica, de una vía con un ancho de plataforma de 7 metros y 1 metro de bermas.

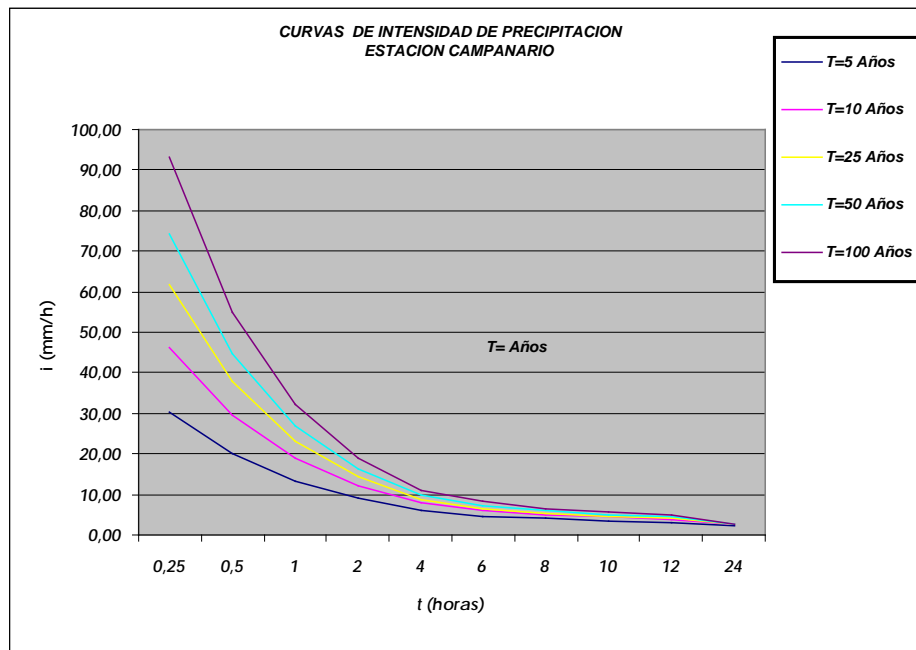
El presente trabajo utilizó el diseño realizado por SEDECA, para fines de comparación de resultados con los obtenidos por el Método de Talbot.

3.8.2.5. Alcantarillas.-

Los caudales de diseño fueron determinados mediante el método del Hidrograma Unitario de Mockus, para cuencas bien definidas cuya delimitación y caracterización puede realizarse en cartas geográficas del IGM a escala 1:50.000.

Las curvas de INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA y sus ecuaciones para diferentes periodos de retorno, fueron determinadas mediante un análisis de frecuencia de precipitación.

Gráfico 5: Curvas IDF del tramo Iscayachi – Tojo – Carretas (Estación Campanario).



Fuente: Estudio de Factibilidad Económica, Diseño Final e Impacto Ambiental para la carretera Iscayachi – Tojo – Carretas

Las ecuaciones son:

$$i_5 = 13.426 * t^{-0.583}$$

$$i_{10} = 19.055 * t^{-0.640}$$

$$i_{25} = 23.259 * t^{-0.704}$$

$$i_{50} = 27.053 * t^{-0.728}$$

$$i_{100} = 32.202 * t^{-0.767}$$

A continuación se muestra una planilla resumen de alcantarillas:

Cuadro 41: Resumen de Alcantarillas Diseñadas por el método del Hidrograma Unitario de Mockus para el Tramo Iscayachi – Chorcoya Avilés.

Nº	Progresiva	Río / Quebrada	Tipo	Sección de Alcantarilla		Q max (m ³ /s)	Área hidraulica (m ²)
				Circular D (m)	Rectangular (bxh) (m ²)		
1	2 + 433	Piedras Grandes	Cajón H° A°		(2 x 2)	7.53	1.29
2	3 + 740	Sin Nombre	Cajón H° A°		(3.5 x 2)	9.28	1.65
3	5 + 002	Cerca de Escuela Campanario	Cajón H° A°		(2 x 2)	6.18	1.12
4	5 + 449	Rio Tomayapo (Cabecera)	Cajón H° A°		(2 x 2)	6.35	1.14
5	19 + 410	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		2 (2 x 2)	15.43	2.62
6	29 + 103	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(2 x 2)	7.71	1.31
7	34 + 592	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(2 x 2)	6.24	1.13
8	36 + 218	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		2 (2 x 2)	15.66	2.66
9	38 + 730	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(2 x 2)	7.87	1.33
10	40 + 344	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		2 (2 x 2)	15.65	2.66
11	43 + 621	Quebrada Sin Nombre	Circular H°	D = 1.5 m		4.01	0.75

Fuente: Estudio de Factibilidad Económica, diseño Final e Impacto Ambiental para la carretera Iscayachi – Tojo – Carretas

3.8.2.6. Diseño de Alcantarillas Aplicando el Método de Talbot.-

Realizado el análisis tanto de la información contenida en el diseño final, como la información cartográfica de la zona; en función a sus características topográficas los valores de pendiente media de las cuenca fluctúan entre 7 y 14%, correspondiente a un tipo de terreno “Ligeramente Ondulado” y un valor del coeficiente C igual 0,30. Luego del análisis realizado en el acápite 3.7; el coeficiente “C corregido” a utilizarse para este tipo de terreno y en esta zona es igual a 0,27; a continuación se presenta el cuadro resumen del cálculo de áreas hidráulicas para cada alcantarilla:

Cuadro 42: Resumen de Alcantarillas diseñadas con el Método de Talbot para el tramo Iscayachi – Chorcoya Avilés.

Nº	Progresiva	Rio / Quebrada	Cuenca	Área Cca (Ha)	Coef. "C" (adm)	Área Hid. (m ²)
1	2 + 433	Piedras Grandes	Cca1	180.71	0.27	2.44
2	3 + 740	Sin Nombre	Cca2	233.57	0.27	2.95
3	5 + 002	Cerca de Escuela Campanario	Cca3	186.92	0.27	2.50
4	5 + 449	Rio Tomayapo (Cabecera)	Cca4	187.37	0.27	2.50
5	19 + 410	Quebrada Sin Nombre	Cca5	418.85	0.27	4.57
6	29 + 103	Quebrada Sin Nombre	Cca6	337.13	0.27	3.89
7	34 + 592	Quebrada Sin Nombre	Cca7	657.15	0.27	6.41
8	36 + 218	Quebrada Sin Nombre	Cca8	830.78	0.27	7.65
9	38 + 730	Quebrada Sin Nombre	Cca9	318.01	0.27	3.72
10	40 + 344	Quebrada Sin Nombre	Cca10	469.59	0.27	4.98
11	43 + 621	Quebrada Sin Nombre	Cca11	44.10	0.27	0.85

Fuente: Elaboración Propia.

El detalle del cálculo para cada una de las alcantarillas se lo presenta en el Anexo N° V.2.2.

3.8.3. TRAMO 3: QUEBRADA LAS VACAS - SALINAS.-

3.8.3.1. Ubicación del Tramo.-

El tramo “Quebrada las Vacas - Salinas” se encuentra ubicado en el departamento de Tarija, en su recorrido longitudinal de Norte a Sur Oeste; está ubicado en la Primera Sección de la Provincia O`Connor, en el Cantón Salinas, perteneciente al Municipio de Entre Ríos.

Nace en el cruce de Quebrada de las Vacas, pasa por varias comunidades intermedias hasta llegar a la comunidad de Salinas.

Ubicación geográfica

Quebrada las Vacas - Salinas

21°36' Latitud Sur 21°47' Latitud Sur

64°08' Longitud oeste 64°14' Longitud oeste.

Fotografía 10: Imagen Satelital tramo 3: Quebrada Las Vacas – Salinas.



Fuente: Elaboración Propia en base a imágenes satelitales de Google Earth.

3.8.3.2. Caracterización Climática.-

Desde el punto de vista climático, la zona del proyecto pertenece a la región subandina, presenta un clima semicálido húmedo a sub húmedo, seco megatermal con riesgos climáticos como heladas en los meses de junio a agosto; granizadas de octubre a noviembre.

La zona del proyecto, pertenece al Valle del río Salinas que forma parte del Valle del Medio, y su clima es característico de valle; con una temperatura promedio de 19 °C y una precipitación media anual de alrededor de 1.200,00 mm.

En la zona del proyecto se tiene un promedio anual de precipitación de 1.200,00 mm de acuerdo a los registros de las estaciones de Entre Ríos y Salinas.

La distribución espacial y temporal de las precipitaciones se caracteriza por presentar dos periodos marcados, el de precipitaciones de noviembre a marzo y el periodo seco de abril a octubre, sin embargo en el subandino zona de ubicación del proyecto se producen lloviznas en el periodo seco.

Cuadro 43: Precipitaciones medias mensuales y anuales

Tramo Quebrada Las Vacas– Salinas.

Mes	Precipitación (mm)	
	Entre Rios	Salinas
ENERO	214.50	228.90
FEBRERO	188.20	257.10
MARZO	203.80	236.00
ABRIL	96.10	102.10
MAYO	22.10	38.40
JUNIO	10.10	23.40
JULIO	4.30	15.40
AGOSTO	5.60	12.30
SEPTIEMBRE	15.00	19.60
OCTUBRE	60.60	62.70
NOVIEMBRE	129.00	121.70
DICIEMBRE	185.00	195.00
MEDIA ANUAL	1134.30	1312.50

Fuente: Estudio de Factibilidad, Diseño Final e Impacto Ambiental
Asfaltado camino Quebrada Las Vacas – Salinas.

Como se puede apreciar, se presentan precipitaciones durante el periodo seco, no hay un mes en el que el valor de la precipitación sea cero.

El promedio anual de días con lluvia es de 100, lo que nos muestra que se trata de una zona muy lluviosa.

3.8.3.3. Características Topográficas de la zona.-

En general la zona comprendida entre las localidades de Entre Ríos y Salinas presenta condiciones topográficas accidentadas, con pendientes escarpadas y de material rocoso.

La mayor parte del tramo recorre un terreno ondulado denotándose al inicio y el final del mismo terrenos con pendientes menos pronunciadas.

3.8.3.4. Descripción del Tramo.-

Actualmente el Camino Quebrada Las Vacas – Salinas es un camino inestable debido a la falta de las obras de arte necesarias para mantener la transitabilidad del mismo durante todo el año. Es de aproximadamente 34 kilómetros con un ancho de 4 a 5 metros y capa de rodadura de ripio.

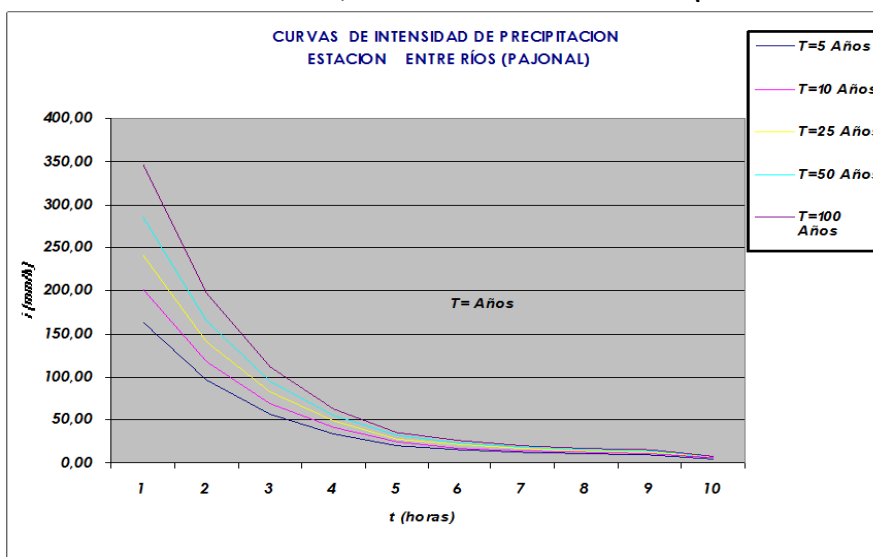
Como se trata de una zona bastante lluviosa, el costo del mantenimiento es elevado, pues cada época de lluvias lava totalmente el ripio de la capa de rodadura dejando el camino intransitable.

El proyecto elaborado por el SEDECA, a través de una consultoría externa, consiste en mejorar el trazo actual, construir las obras de arte mayores y menores necesarias y la pavimentación de la carretera, convirtiéndola en una ruta pavimentada con 7 metros de ancho, con la señalización adecuada para proporcionar seguridad a la circulación vehicular.

3.8.3.5. Alcantarillas.-

Los caudales para las cuencas menores de pequeñas quebradas fueron determinados mediante el método Racional.

Gráfico 6: Curvas IDF del tramo Quebrada Las Vacas – Salinas (Estación Entre Ríos).



Fuente: Estudio de Factibilidad, Diseño Final e Impacto Ambiental Asfaltado camino Quebrada Las Vacas – Salinas.

Las curvas de INTENSIDAD – DURACIÓN-FRECUENCIA y sus ecuaciones para diferentes periodos de retorno, fueron determinadas mediante un análisis de frecuencia de precipitación.

Las ecuaciones son:

$$i_5 = 57.130 * t^{-0.755}$$

$$i_{10} = 69.297 * t^{-0.771}$$

$$i_{25} = 82.522 * t^{-0.774}$$

$$i_{50} = 95.245 * t^{-0.791}$$

$$i_{100} = 111.337 * t^{-0.818}$$

A continuación se muestra un cuadro resumen de alcantarillas de pequeñas quebradas para el tramo de estudio:

Cuadro 44: Resumen de alcantarillas diseñadas por el método Racional para el tramo Quebrada Las Vacas – Salinas.

N°	Progresiva	Río / Quebrada	Tipo	Sección de Alcantarilla		Q max (m ³ /s)	Área hidraulica (m ²)
				Circular D (m)	Rectangular (bxh) (m ²)		
1	5 + 973	Quebrada Sin Nombre	Circular ch	D = 1.5 m		3.52	0.99
2	6 + 052	Quebrada Sin Nombre	Circular ch	D = 1.5 m		2.64	0.80
3	6 + 232	Quebrada Sin Nombre	Circular ch	D = 1.5 m		4.23	1.14
4	7 + 058	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(3 x2)	8.87	1.55
5	8 + 124	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		2 (2 x2)	11.29	1.96
6	8 + 637	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		2 (2 x2)	11.97	2.20
7	10 + 860	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(2 x2)	6.91	1.22
8	11 + 615	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		3 (3 x2)	26.04	4.56
9	12 + 018	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		2 (2 x2)	14.48	2.52
10	13 + 225	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		3 (2 x2)	20.18	3.57
11	14 + 747	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		3 (2.5 x2)	23.18	4.08
12	17 + 690	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		(3 x2)	8.39	1.49
13	21 + 660	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		4 (2.5x2)	31.99	5.56
14	27 + 750	Quebrada Sin Nombre	Cajón H° A°		2 (2.5x2)	15.28	2.70

Fuente: Estudio de Factibilidad, Diseño Final e Impacto Ambiental Asfaltado camino Quebrada Las Vacas – Salinas.

3.8.3.6. Diseño de Alcantarillas Aplicando el Método de Talbot.-

Realizado el análisis tanto de la información contenida en el diseño final, como la información cartográfica de la zona; en función a sus características topográficas los valores de pendiente media de las cuencas fluctúan entre 14 y 20%, correspondiente a un tipo de terreno “Ondulado” y un valor del coeficiente C igual 0,50. Luego del análisis realizado en el acápite 3.7; el coeficiente “C corregido” a utilizarse para este tipo de terreno y en esta zona será igual a 0,60; a continuación se presenta el cuadro resumen del cálculo de áreas hidráulicas para cada alcantarilla:

Cuadro 45: Resumen de Alcantarillas diseñadas con el Método de Talbot para el tramo Quebrada Las Vacas – Salinas.

Nº	Progresiva	Rio / Quebrada	Cuenca	Área Cca (Ha)	Coef. "C" (adm)	Área Hid. (m ²)
1	5 + 973	Quebrada Sin Nombre	Cca1	15.33	0.60	0.85
2	6 + 052	Quebrada Sin Nombre	Cca2	11.47	0.60	0.68
3	6 + 232	Quebrada Sin Nombre	Cca3	18.40	0.60	0.98
4	7 + 058	Quebrada Sin Nombre	Cca4	38.58	0.60	1.70
5	8 + 124	Quebrada Sin Nombre	Cca5	49.12	0.60	2.04
6	8 + 637	Quebrada Sin Nombre	Cca6	52.08	0.60	2.13
7	10 + 860	Quebrada Sin Nombre	Cca7	30.05	0.60	1.41
8	11 + 615	Quebrada Sin Nombre	Cca8	113.29	0.60	3.81
9	12 + 018	Quebrada Sin Nombre	Cca9	62.99	0.60	2.46
10	13 + 225	Quebrada Sin Nombre	Cca10	87.81	0.60	3.15
11	14 + 747	Quebrada Sin Nombre	Cca11	100.86	0.60	3.49
12	17 + 690	Quebrada Sin Nombre	Cca12	36.51	0.60	1.63
13	21 + 660	Quebrada Sin Nombre	Cca13	139.18	0.60	4.45
14	27 + 750	Quebrada Sin Nombre	Cca14	66.50	0.60	2.56

Fuente: Elaboración Propia.

El detalle de cálculo para cada una de las alcantarillas se lo presenta en el Anexo N° V.2.3.

3.9. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS.-

3.9.1. Análisis y Comparación para el Tramo 1: San Andrés – Bella Vista.-

El proyecto original fue diseñado por el Método Racional, la comparación de resultados se presenta a continuación:

Cuadro 46: Comparación de Áreas Hidráulicas para el tramo San Andrés – Bella Vista.

N°	Progresiva	Área de la Cuenca (Ha)	Q máx. T=10 años (m ³ /s)	Dimensiones según Diseño Final "Método Racional"			Área Hidráulica según Talbot (m ²)	Relación entre AHT y AHD %
				Sección Circular D (m)	Sección Rectangular (bxh) m ²	Área Hidráulica (m ²)		
1	0 + 590	139.00	21.39		2 (3.0 x 1.5)	3.86	3.85	99.80
2	1 + 130	74.50	11.46		(3.0 x 1.5)	2.03	2.41	118.87
3	1 + 350	72.88	11.21		(3.0 x 1.5)	1.99	2.37	119.28
4	1 + 430	73.10	11.25		(3.0 x 1.5)	2.00	2.38	118.95
5	1 + 660	73.40	11.29		(3.0 x 1.5)	2.00	2.39	119.32
6	1 + 965	66.60	10.25		(3.0 x 1.5)	1.88	2.22	118.01
7	2 + 050	60.50	9.31		(3.0 x 1.5)	1.76	2.06	117.29
8	3 + 530	70.00	10.77		(3.0 x 1.5)	1.94	2.30	118.71

Promedio de la relación entre áreas hidráulicas : 116.28 %

Fuente: Elaboración Propia.

3.9.2. Análisis y Comparación para el Tramo 2: Iscayachi – Chorcoya Avilés.-

El diseño final de este tramo utilizó el método de Hidrograma Unitario de Mockus para determinar los caudales para el diseño alcantarillas, a continuación se muestra la comparación con el Método de Talbot.

Cuadro 47: Comparación de Áreas Hidráulicas para el tramo Iscayachi – Chorcoya Avilés.

N°	Progresiva	Área de la Cuenca (Ha)	Q máx. T=10 años (m ³ /s)	Dimensiones según Diseño Final "Método Hidrograma Unitario de Mockus"			Área Hidráulica según Talbot (m ²)	Relación entre AHT y AHD %
				Sección Circular D (m)	Sección Rectangular (bxh) m ²	Área Hidráulica (m ²)		
1	2 + 433	180.71	7.53		(2 x 2)	1.29	2.44	188.78
2	3 + 740	233.57	9.28		(3.5 x 2)	1.65	2.95	178.92
3	5 + 002	186.92	6.18		(2 x 2)	1.12	2.50	223.02
4	5 + 449	187.37	6.35		(2 x 2)	1.14	2.50	219.50
5	19 + 410	418.85	15.43		2 (2 x 2)	2.62	4.57	174.61
6	29 + 103	337.13	7.71		(2 x 2)	1.31	3.89	296.75
7	34 + 592	657.15	6.24		(2 x 2)	1.13	6.41	567.52
8	36 + 218	830.78	15.66		2 (2 x 2)	2.66	7.65	287.44
9	38 + 730	318.01	7.87		(2 x 2)	1.33	3.72	279.77
10	40 + 344	469.59	15.65		2 (2 x 2)	2.66	4.98	187.38
11	43 + 621	44.10	4.01	D = 1.5 m		0.75	0.85	112.75

Promedio de la relación entre áreas hidráulicas : 246.95 %

Fuente: Elaboración Propia.

3.9.3. Análisis y Comparación para el Tramo 3: Quebrada Las Vacas – Salinas.-

El tramo Quebrada Las Vacas - Salinas para las pequeñas quebradas que atraviesan el tramo utilizo el Método Racional para definir sus caudales de diseño para las alcantarillas, a continuación se presenta la comparación con los resultados obtenidos con el Método de Talbot.

Cuadro 48: Comparación de Áreas Hidráulicas para el tramo Quebrada Las Vacas – Salinas.

N°	Progresiva	Área de la Cuenca (Ha)	Q máx. T=10 años (m ³ /s)	Dimensiones según Diseño Final "Método Racional"			Área Hidráulica según Talbot (m ²)	Relación entre AHT y AHD %
				Sección Circular D (m)	Sección Rectangular (bxh) m ²	Área Hidráulica (m ²)		
1	5 + 973	15.33	3.52	D = 1.5 m		0.99	0.85	85.91
2	6 + 052	11.47	2.64	D = 1.5 m		0.80	0.68	85.53
3	6 + 232	18.40	4.23	D = 1.5 m		1.14	0.98	85.55
4	7 + 058	38.58	8.87		(3 x 2)	1.55	1.70	109.65
5	8 + 124	49.12	11.29		2 (2 x 2)	1.96	2.04	103.94
6	8 + 637	52.08	11.97		2 (2 x 2)	2.20	2.13	96.76
7	10 + 860	30.05	6.91		(2 x 2)	1.22	1.41	115.51
8	11 + 615	113.29	26.04		3 (3 x 2)	4.56	3.81	83.61
9	12 + 018	62.99	14.48		2 (2 x 2)	2.52	2.46	97.42
10	13 + 225	87.81	20.18		3 (2 x 2)	3.57	3.15	88.23
11	14 + 747	100.86	23.18		3 (2.5 x 2)	4.08	3.49	85.65
12	17 + 690	36.51	8.39		(3 x 2)	1.49	1.63	109.45
13	21 + 660	139.18	31.99		4 (2.5 x 2)	5.56	4.45	80.02
14	27 + 750	66.50	15.28		2 (2.5 x 2)	2.70	2.56	94.71

Promedio de la relación entre áreas hidráulicas : 94.43 %

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES.-

El objetivo general planteado por el presente trabajo de tesis de grado, fue el de aplicar una metodología expeditiva para el diseño de alcantarillas para caminos departamentales y municipales, objetivo que se ha cumplido a cabalidad porque se ha descrito, analizado y aplicado el MÉTODO DE TALBOT, primero en 90 cuencas definidas en las tres zonas del área de estudio y, segundo en tres diferentes tramos camineros identificados en estas tres zonas, con lo que se ha demostrado la aplicabilidad del mencionado método.

Dentro de los objetivos específicos se plantearon varios, los mismos que con el desarrollo del trabajo de tesis fueron detallados y analizados pudiendo concluir que se han cumplido con todos ellos abarcando así el alcance de trabajo planteado en el perfil de tesis.

- En el **capítulo 1**, se analizaron y estudiaron las características y condiciones de las alcantarillas de cruce, se presentó la clasificación de las alcantarillas, los tipos de alcantarillas según la geometría de la sección, según el material y según el número de conductos.

Se describió detalladamente los componentes de las alcantarillas, las dimensiones mínimas, pendientes y velocidad de flujo.

En este mismo capítulo se presentaron y desarrollaron los tres procedimientos generales para el dimensionamiento de alcantarillas; como así también los métodos mas utilizados en cada uno de estos procedimientos, dentro de estos métodos se encuentra el método racional que es uno de los más conocidos de acuerdo a la bibliografía revisada.

- Se estudiaron los principios y parámetros de diseño necesarios para cada método planteado para el dimensionamiento de alcantarillas.
- El **capítulo 2** plantea y describe a detalle el Método de Talbot, los principios sobre los que se basa dicho método, como también sus parámetros de diseño.
- El **capítulo 3** comprende la validación y aplicación del Método de Talbot en el área de estudio.

Se aplicó el método en tres zonas del área de estudio:

- Zona 1: Zona alta.
- Zona 2: Zona del Valle Central
- Zona 3: Chaco.

Para cada zona se delimitaron treinta (30) cuencas para las que se determinaron las secciones de alcantarillas mediante el Método Racional, el del Hidrograma Unitario de Mockus y finalmente con la metodología expeditiva de Talbot.

De la comparación de estos tres métodos podemos establecer las siguientes conclusiones:

- ✓ Se encuentra similitud en los resultados obtenidos por el Método Racional y el Método de Talbot.
- ✓ Se encuentra diferencias considerables en los resultados obtenidos entre el Método del Hidrograma Unitario de Mockus y el método de Talbot, esto debido a las consideraciones de las que parten ambos métodos, el primero planteado para cuencas con áreas mayores a 5 km^2 y, el segundo si bien es recomendado por su autor para cuencas con áreas menores a 10 km^2 , otros estudios han determinado que existen variaciones considerables para áreas mayores a los 5 km^2 .

Con los valores obtenidos para las noventa (90) cuencas se realizó la corrección de los coeficientes “C” de Talbot para cada zona y tipo de terreno, determinándose un factor de corrección en base al promedio de la diferencia en porcentaje entre áreas

hidráulicas multiplicado por el coeficiente “C” tomado inicialmente, este factor de corrección se le suma al valor inicial asumido para “C”, encontrándose así el coeficiente corregido (C corregido).

Los valores “C” adoptados y “C” corregidos para las tres zonas y los diferentes tipos de terreno son los siguientes:

Cuadro 49: Resumen de Coeficientes “C adoptado” y “C corregido” de Talbot para el área de estudio.

Nº	Zona	Rango Pmc (%)	Tipo de Terreno según Talbot	Coef. Adoptado	Coef. Corregido
1	Alta	7% < Pmc < 14%	Ligeramente Ondulado	0.30	0.27
2	Alta	14% < Pmc < 20%	Ondulado	0.50	0.42
3	Alta	20% < Pmc < 30%	Lomerío	0.60	0.48
4	Valles	0% < Pmc < 7%	Plano	0.20	0.34
5	Valles	14% < Pmc < 20%	Ondulado	0.50	0.52
6	Valles	20% < Pmc < 30%	Lomerío	0.60	0.56
7	Chaco	0% < Pmc < 7%	Plano	0.20	0.45
8	Chaco	7% < Pmc < 14%	Ligeramente Ondulado	0.30	0.52
9	Chaco	14% < Pmc < 20%	Ondulado	0.50	0.6

Fuente: Elaboración propia.

Con el propósito de realizar una comparación de secciones de alcantarilla, se calcularon las áreas hidráulicas por el método de Talbot utilizando los coeficientes “C” corregidos, a partir de estas se estimaron los caudales aproximados para cada una de ellas y su correspondiente sección de alcantarilla, estos resultados fueron plasmados en gráficos de comparación presentados en el Anexo IV, de los cuales se puede advertir que la variación es mínima en cuanto a caudales y áreas hidráulicas, teniendo prácticamente en todos los casos las mismas secciones de alcantarilla en comparación con el método patrón utilizado para la comparación.

Cuadro 50: Comparación de áreas hidráulicas método Racional y método de Talbot con “C corregido” para el área de estudio (zona Alta).

N°	Zona	Estación	Cuenca	Área de la Cuenca (Ha)	Áreas Hidráulicas		Diferencia en porcentaje %
					Método Racional (m ²)	Método de Talbot (m ²)	
1	Alta	Campanario	C1	72.00	1.16	1.22	5.17
2	Alta	Campanario	C2	191.00	2.74	2.54	-7.30
3	Alta	Campanario	C3	46.00	0.98	0.87	-11.22
4	Alta	Tucumillas	C7	317.00	6.45	3.71	-42.48
5	Alta	Tucumillas	C8	190.00	4.26	2.53	-40.61
6	Alta	Copacabana	C16	146.00	1.90	2.08	9.47
7	Alta	Copacabana	C17	133.00	1.88	1.94	3.19
8	Alta	Copacabana	C18	162.00	2.04	2.24	9.80
9	Alta	El Molino	C19	40.00	0.66	0.79	19.70
10	Alta	El Molino	C20	34.00	0.57	0.70	22.81
11	Alta	El Molino	C21	42.00	0.70	0.82	17.14
12	Alta	Sama Iscayachi	C25	62.00	0.92	1.09	18.48
13	Alta	Sama Iscayachi	C26	30.00	0.62	0.63	1.61
14	Alta	Sama Iscayachi	C27	28.00	0.60	0.60	0.00
15	Alta	San Antonio	C28	69.00	0.87	1.18	35.63
16	Alta	San Antonio	C29	37.00	0.58	0.74	27.59
17	Alta	Tucumillas	C9	38.00	1.32	1.18	-10.61
18	Alta	Yesera Norte	C10	88.00	2.24	2.21	-1.34
19	Alta	Yesera Norte	C11	100.00	2.78	2.43	-12.59
20	Alta	Yesera Norte	C12	110.00	2.86	2.61	-8.74
21	Alta	Sama Cumbre	C24	70.00	1.96	1.86	-5.10
22	Alta	San Antonio	C30	24.00	0.47	0.83	76.60
23	Alta	Tojo	C4	78.00	2.14	2.31	7.94
24	Alta	Tojo	C5	123.00	3.12	3.24	3.85
25	Alta	Tojo	C6	37.00	1.08	1.32	22.22
26	Alta	Tomayapo Pueblo	C13	52.00	2.02	1.70	-15.84
27	Alta	Tomayapo Pueblo	C14	36.00	1.34	1.29	-3.73
28	Alta	Tomayapo Pueblo	C15	44.00	1.60	1.50	-6.25
29	Alta	Sama Cumbre	C22	26.00	1.06	1.01	-4.72
30	Alta	Sama Cumbre	C23	31.00	1.19	1.15	-3.36

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 51: Comparación de áreas hidráulicas método Racional y método de Talbot con "C corregido" para el área de estudio (zona Valles).

N°	Zona	Estación	Cuenca	Área de la Cuenca (Ha)	Áreas Hidráulicas		Diferencia en porcentaje %
					Método Racional (m ²)	Método de Talbot (m ²)	
1	Valles	Aeropuerto - Tarija	C31	167.00	2.74	2.89	5.47
2	Valles	Aeropuerto - Tarija	C32	65.00	1.12	1.42	26.79
3	Valles	Aeropuerto - Tarija	C33	36.00	0.98	0.91	-7.14
4	Valles	El Tejar	C37	12.00	0.51	0.40	-21.57
5	Valles	El Tejar	C38	25.00	0.75	0.70	-6.67
6	Valles	El Tejar	C39	35.00	0.77	0.90	16.88
7	Valles	Coimata	C36	33.00	1.19	1.31	10.08
8	Valles	Pinos Sud	C40	200.00	6.10	5.06	-17.05
9	Valles	San Andrés	C43	210.00	6.10	5.25	-13.93
10	Valles	San Andrés	C44	158.00	4.96	4.24	-14.52
11	Valles	San Andrés	C45	190.00	5.64	4.87	-13.65
12	Valles	San Jacinto Sud	C46	110.00	3.39	3.23	-4.72
13	Valles	San Jacinto Sud	C48	37.00	1.35	1.43	5.93
14	Valles	Turumayo	C49	125.00	3.96	3.56	-10.10
15	Valles	Cenavit	C52	40.00	1.30	1.51	16.15
16	Valles	Cenavit	C53	150.00	3.66	4.08	11.48
17	Valles	Cenavit	C54	26.00	1.08	1.10	1.85
18	Valles	Juntas	C55	42.00	1.23	1.57	27.64
19	Valles	Juntas	C56	15.00	0.65	0.73	12.31
20	Valles	Juntas	C57	16.00	0.69	0.76	10.14
21	Valles	Sella Quebradas	C58	365.00	7.38	7.95	7.72
22	Valles	Coimata	C34	21.00	0.77	1.01	31.17
23	Valles	Coimata	C35	10.00	0.48	0.58	20.83
24	Valles	Pinos Sud	C41	138.00	4.84	4.13	-14.67
25	Valles	Pinos Sud	C42	94.00	3.69	3.09	-16.26
26	Valles	San Jacinto Sud	C47	43.00	1.90	1.72	-9.47
27	Valles	Turumayo	C50	27.00	1.18	1.21	2.54
28	Valles	Turumayo	C51	55.00	2.00	2.07	3.50
29	Valles	Sella Quebradas	C59	53.00	2.02	2.01	-0.50
30	Valles	Sella Quebradas	C60	46.00	1.90	1.81	-4.74

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 52: Comparación de áreas hidráulicas método Racional y método de Talbot con “C corregido” para el área de estudio (zona Chaco).

N°	Zona	Estación	Cuenca	Área de la Cuenca (Ha)	Áreas Hidráulicas		Diferencia en porcentaje %
					Método Racional (m ²)	Método de Talbot (m ²)	
1	Chaco	Algarrobillas	C61	145.00	2.74	3.44	25.55
2	Chaco	Algarrobillas	C62	200.00	3.69	4.38	18.70
3	Chaco	Algarrobillas	C63	199.00	3.90	4.36	11.79
4	Chaco	Palmar Grande	C70	29.00	0.92	1.03	11.96
5	Chaco	Palmar Grande	C71	47.00	1.22	1.48	21.31
6	Chaco	Palmar Grande	C72	18.00	0.79	0.72	-8.86
7	Chaco	Sachapera	C73	56.00	2.96	1.69	-42.91
8	Chaco	Sachapera	C74	40.00	1.56	1.31	-16.03
9	Chaco	Sachapera	C75	54.00	2.32	1.64	-29.31
10	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C76	225.00	2.70	4.78	77.04
11	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C77	365.00	5.20	6.88	32.31
12	Chaco	Villa Montes - Aeropuerto	C78	310.00	4.68	6.08	29.91
13	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C79	339.00	6.05	6.51	7.60
14	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C80	313.00	6.20	6.13	-1.13
15	Chaco	Yacuiba - Aeropuerto	C81	232.00	5.08	4.90	-3.54
16	Chaco	Timboy	C88	129.00	3.42	3.15	-7.89
17	Chaco	Aguaraycito	C82	196.00	3.81	4.98	30.71
18	Chaco	Aguaraycito	C83	22.00	0.94	0.97	3.19
19	Chaco	Aguaraycito	C84	36.00	1.29	1.40	8.53
20	Chaco	Timboy	C89	52.00	2.24	1.84	-17.86
21	Chaco	Timboy	C90	100.00	3.45	3.01	-12.75
22	Chaco	Berety	C64	53.00	2.18	2.16	-0.92
23	Chaco	Berety	C65	28.00	1.20	1.34	11.67
24	Chaco	Berety	C66	94.00	3.75	3.31	-11.73
25	Chaco	Itau	C67	115.00	4.72	3.86	-18.22
26	Chaco	Itau	C68	81.00	2.92	2.96	1.37
27	Chaco	Itau	C69	36.00	2.18	1.61	-26.15
28	Chaco	Palos Blancos	C85	42.00	1.43	1.81	26.57
29	Chaco	Palos Blancos	C86	30.00	1.13	1.41	24.78
30	Chaco	Palos Blancos	C87	21.00	0.88	1.08	22.73

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Con el objeto de validar la aplicación del método se identificaron tres tramos uno en cada zona, aplicando el Método de Talbot con los coeficientes de Talbot “C corregidos” en base a la comparación con el Método Racional; estos tramos son:

- Tramo 1: San Andrés – Bella Vista.
- Tramo 2: Iscayachi – Chorcoya Avilés.
- Tramo 3: Quebrada Las Vacas - Salinas.

Los proyectos que se han elaborado para estos tramos dimensionaron sus alcantarillas por dos métodos convencionales, el Racional y el Hidrograma Unitario de Mockus.

Cumpliendo con lo planteado en el perfil de proyecto de tesis de grado, se aplicó el método y se realizó la comparación para cada tramo, esta comparación se la presenta en el capítulo III, y en base a los resultados obtenidos de la comparación podemos concluir lo siguiente:

Tramo 1: San Andrés – Bella Vista:

- ✓ El proyecto comprende el diseño de 8 alcantarillas, diseñadas por el Método Racional.
- ✓ Se aplicó el Método de Talbot, encontrando una mínima diferencia respecto al Método Racional, vale decir que las secciones encontradas mediante Talbot, son muy parecidas a las determinadas por el método racional, las primeras mayores aproximadamente en un promedio del 16,28 %.

Cuadro 53: Comparación de áreas hidráulicas tramo 1: San Andrés – Bella Vista.

N°	Progresiva	Área de la Cuenca (Ha)	Dimensiones según Diseño Final "Método Racional"			Área Hidráulica según Talbot (m ²)	Relación entre AHT y AHD %	Diferencia entre áreas hidráulicas %
			Sección Circular D (m)	Sección Rectangular (bxh) m ²	Área Hidráulica (m ²)			
1	0 + 590	139.00		2 (3.0 x 1.5)	3.86	3.85	99.80	-0.20
2	1 + 130	74.50		(3.0 x 1.5)	2.03	2.41	118.87	18.87
3	1 + 350	72.88		(3.0 x 1.5)	1.99	2.37	119.28	19.28
4	1 + 430	73.10		(3.0 x 1.5)	2.00	2.38	118.95	18.95
5	1 + 660	73.40		(3.0 x 1.5)	2.00	2.39	119.32	19.32
6	1 + 965	66.60		(3.0 x 1.5)	1.88	2.22	118.01	18.01
7	2 + 050	60.50		(3.0 x 1.5)	1.76	2.06	117.29	17.29
8	3 + 530	70.00		(3.0 x 1.5)	1.94	2.30	118.71	18.71

Promedio de la diferencia entre áreas hidráulicas : 16.28 %

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Del cuadro anterior se puede advertir que la diferencia máxima es del 19,32 % que equivale a 0,39 m² de área hidráulica correspondientes a la alcantarilla N° 5 la cual es relativamente insignificante en comparación con la sección de alcantarilla adoptada.

Tramo 2: Iscayachi – Chorcoya Avilés:

- ✓ El proyecto comprende el diseño de 11 alcantarillas, para cuencas bien definidas, delimitadas en cartas geográficas escala 1:50.000, dimensionadas mediante el Hidrograma Unitario de Mockus.
- ✓ Se aplicó el método de Talbot, encontrando una diferencia significativa con los resultados del proyecto, vale decir que las secciones encontradas mediante Talbot, son mucho mayores que las determinadas por el Método del Hidrograma Unitario de Mockus, aproximadamente en un promedio del 146,95 %.

Cuadro 54: Comparación de áreas hidráulicas tramo 2: Iscayachi – Chorcoya Avilés.

N°	Progresiva	Área de la Cuenca (Ha)	Dimensiones según Diseño Final "Método Hidrograma Unitario de Mockus"			Área Hidráulica según Talbot (m ²)	Relación entre AHT y AHD %	Diferencia entre áreas hidráulicas %
			Sección Circular D (m)	Sección Rectangular (bxh) m ²	Área Hidráulica (m ²)			
1	2 + 433	180.71		(2 x 2)	1.29	2.44	188.78	88.78
2	3 + 740	233.57		(3.5 x 2)	1.65	2.95	178.92	78.92
3	5 + 002	186.92		(2 x 2)	1.12	2.50	223.02	123.02
4	5 + 449	187.37		(2 x 2)	1.14	2.50	219.50	119.50
5	19 + 410	418.85		2 (2 x 2)	2.62	4.57	174.61	74.61
6	29 + 103	337.13		(2 x 2)	1.31	3.89	296.75	196.75
7	34 + 592	657.15		(2 x 2)	1.13	6.41	567.52	467.52
8	36 + 218	830.78		2 (2 x 2)	2.66	7.65	287.44	187.44
9	38 + 730	318.01		(2 x 2)	1.33	3.72	279.77	179.77
10	40 + 344	469.59		2 (2 x 2)	2.66	4.98	187.38	87.38
11	43 + 621	44.10	D = 1.5 m		0.75	0.85	112.75	12.75

Promedio de la diferencia entre áreas hidráulicas : 146.95 %

Fuente: Elaboración propia.

Tramo 3: Quebrada Las Vacas – Salinas:

- ✓ El proyecto comprende el diseño de 14 alcantarillas, diseñadas por el Método Racional.
- ✓ Se aplicó el Método de Talbot, encontrando una mínima diferencia respecto al Método Racional, vale decir que las áreas hidráulicas encontradas mediante Talbot, son algo menores que las determinadas por el método racional, aproximadamente en un promedio de un 5,57 %.

Cuadro 55: Comparación de áreas hidráulicas tramo 3: Quebrada las vacas – Salinas.

N°	Progresiva	Área de la Cuenca (Ha)	Dimensiones según Diseño Final "Método Racional"			Área Hidráulica según Talbot (m ²)	Relación entre AHT y AHD %	Diferencia entre áreas hidráulicas %
			Sección Circular D (m)	Sección Rectangular (bxh) m ²	Área Hidráulica (m ²)			
1	5 + 973	15.33	D = 1.5 m		0.99	0.85	85.91	-14.09
2	6 + 052	11.47	D = 1.5 m		0.80	0.68	85.53	-14.47
3	6 + 232	18.40	D = 1.5 m		1.14	0.98	85.55	-14.45
4	7 + 058	38.58		(3 x2)	1.55	1.70	109.65	9.65
5	8 + 124	49.12		2 (2 x2)	1.96	2.04	103.94	3.94
6	8 + 637	52.08		2 (2 x2)	2.20	2.13	96.76	-3.24
7	10 + 860	30.05		(2 x2)	1.22	1.41	115.51	15.51
8	11 + 615	113.29		3 (3 x2)	4.56	3.81	83.61	-16.39
9	12 + 018	62.99		2 (2 x2)	2.52	2.46	97.42	-2.58
10	13 + 225	87.81		3 (2 x2)	3.57	3.15	88.23	-11.77
11	14 + 747	100.86		3 (2.5 x2)	4.08	3.49	85.65	-14.35
12	17 + 690	36.51		(3 x2)	1.49	1.63	109.45	9.45
13	21 + 660	139.18		4 (2.5x2)	5.56	4.45	80.02	-19.98
14	27 + 750	66.50		2 (2.5x2)	2.70	2.56	94.71	-5.29

Promedio de la diferencia entre áreas hidráulicas : -5.57 %

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Del cuadro anterior se puede advertir que la diferencia máxima es del 19,98 % que equivale a 1,11 m² de área hidráulica correspondientes a la alcantarilla N° 13 la cual no es de consideración en comparación con la sección de alcantarilla adoptada.
- Se concluye que el Método de Talbot, es aplicable para el área de estudio, vale decir para el departamento de Tarija, obviamente para los lugares donde no se

dispone de información hidrológica que nos permita la aplicación de un método convencional.

- Los factores de corrección obtenidos para las tres zonas con características climatológicas y topográficas diferentes, permiten la aplicación del Método de Talbot, y la obtención de resultados válidos para el diseño de alcantarillas.
- El número de estaciones climatológicas y/o pluviométricas en nuestro departamento es muy reducido, comprobándose con el análisis realizado a los datos de estas estaciones que muchas de ellas se han cerrado y otras nuevas datan del año 2004 o 2005, por lo que la serie de datos registrada es insuficiente para realizar cualquier pronóstico.

4.2. RECOMENDACIONES.-

- La principal recomendación emanada del presente trabajo, basada en las conclusiones obtenidas luego de la aplicación del Método de Talbot, la comparación y validación de los resultados, es la referida al uso del método expeditivo de Talbot, para el área de estudio definida.
- Se recomienda la aplicación del Método de Talbot, para el dimensionamiento de alcantarillas para caminos de la red departamental y red municipal del departamento de Tarija, donde no se cuente con datos hidrológicos que permitan la aplicación de otro método.
- Se recomienda el uso del Método de Talbot, para pequeñas quebradas cuya delimitación de sus cuencas no sea posible en las cartas geográficas escala 1:50.000, siendo estas las cartas con mayor detalle que se dispone en nuestro país que son elaboradas y comercializadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM).
- Se recomienda también, que las Universidades como entidades involucradas con el desarrollo del departamento, que conocen la necesidad de información hidrológica que sirve de base para el diseño de cualquier proyecto vial, gestionen ante las instancias correspondientes la implementación de mayor número de estaciones meteorológicas para que las generaciones futuras dispongan de datos históricos de ciertas variables hidrológicas.